



Tielaitos

Tielaitos
TIEL/20
) BETONIPÄÄLLYSTEEN (BETTIE)
MITOITUSOHJELMA
11.01.1994 KK 342
Asian tun:1163/92/20/TIEH
Ark=SK Säil=10 Tärk=
Liite 1/1

Betonipäällysteen valinta ja talous

Tielaitoksen
selvityksiä
56/1993

Helsinki 1993

Kehittämiskeskus



Tielaitoksen selvityksiä
56/1993

Betonipäällysteen valinta ja talous

Tielaitos
Kehittämiskeskus

Helsinki 1993

ISSN 0788-3722
ISBN 951-47-7699-2
TIEL 3200181
Painatuskeskus Oy
Helsinki 1993

Julkaisua myy:
Tielaitos, hallinnon palvelukeskus,
painotuotemyynti
Telefax (90) 1487 2652

Tielaitos

Opastinsilta 12 A
PL 33
00521 HELSINKI
Puh. vaihde (90) 148 721

TIIVISTELMÄ

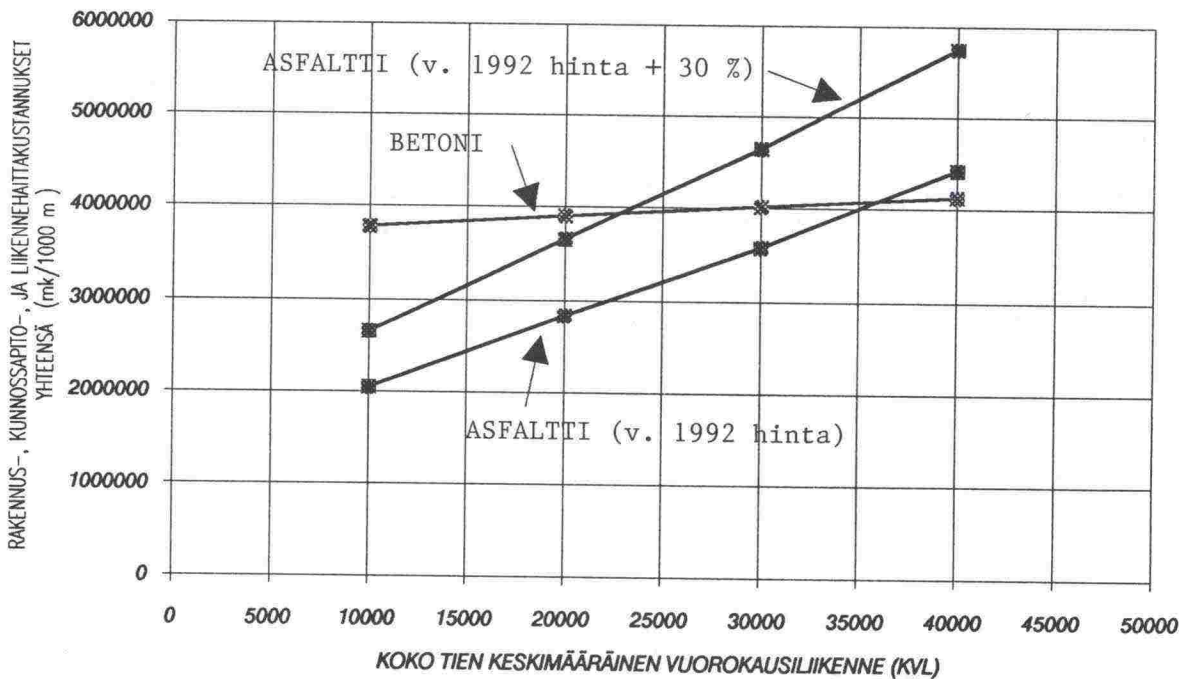
Betonipäällysteiden valinta- ja talous raportissa tarkastellaan betonipäällysteiden taloudellisuutta sekä soveltuvuutta Suomen olosuhteisiimme.

Päällysteiden kokonaistaloudellisuusvertailu suoritetaan laskemalla yhteen rakentamis- ja kunnossapitokustannukset päällysteen arvioidun käyttöiän aikana ja diskonttaamalla ne tarkasteluvuoden tasolle.

Nykyaikainen betonipäällyste on liikennöintiomaisuuksiltaan hyvä ja kestävä päällyste. Sen kulutuskestävyys nastarengaskulutusta vastaan on hyvä. Päällysteen käyttöomaisuudet kuten tasaisuus, melu, valon heijastuvuus, kitka ja vierintävastus ovat samantasoisia ja jopa parempia kuin AB-päällysteillä.

Betonipäällyste sopii meidän olosuhteissa vilkkaasti liikennöidyille moottoriliikenne- ja moottoriteille sekä uudisrakennus- että perusparannuskohteisiin.

BETONI- JA ASFALTTIPÄÄLLYTEIDEN TALOUDELLISUUSVERTAILU



Vertailu on tehty 2+2 kaistaiselle moottoritiepoikkileikkaukselle.

Laskenta-aika on 45 vuotta. Laskentakorko on 6 %.

Päällysteen jäännösarvot on oletettu yhtäsuuriksi (= 0).

Kulumisurat korjataan kaistakohtaisen tarpeen mukaan.

Betonin (K90) kulumiskestävyys on 3-4 kertaa SMA:n kestävyys.

Keywords concrete pavements, economy, maintenance, constructing

ABSTRACT

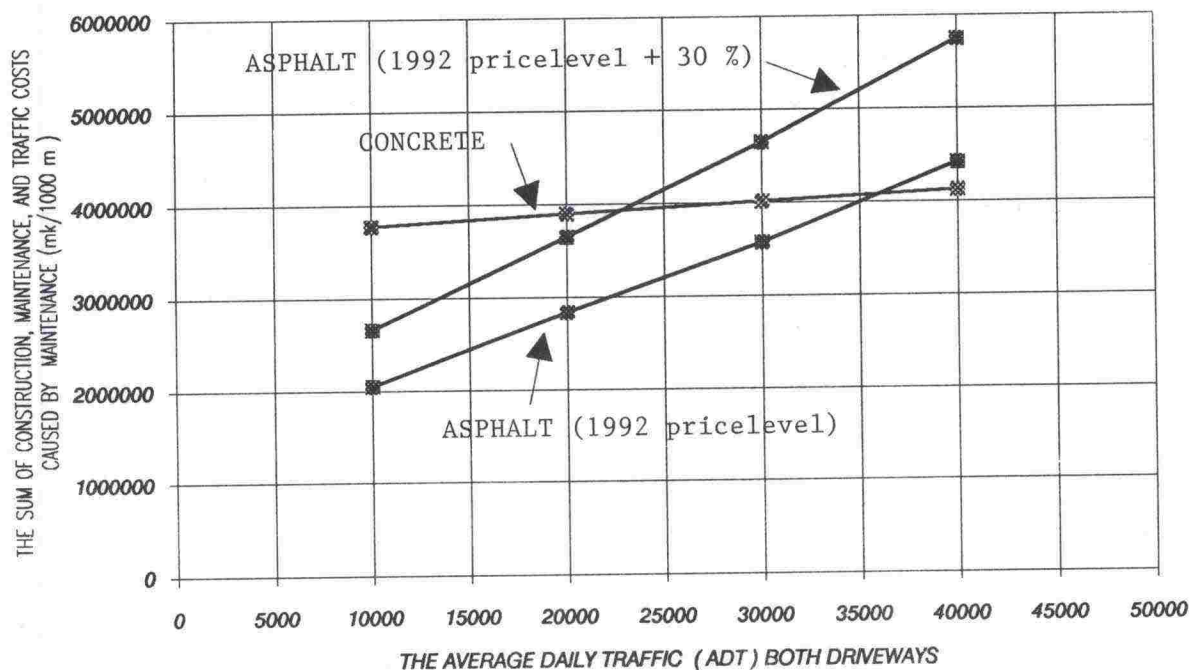
The economy and selection of concrete pavements -report deals with the economy of concrete pavements and their applicability in Finland.

The cost comparison between different pavements is done by counting together construction and maintenance costs for the estimated service life of the pavement and discounting them into present value.

Modern concrete pavements have good traffic qualities and they are durable pavements. They have a good resistance to wear from studded winter tyres. The traffic qualities such as evenness, noise, level, light reflection, grip and rolling resistance are at the same level and sometimes even better as those of asphalt pavement.

In Finland concrete pavements are suitable for main roads and motorways with high traffic volumes. Concrete pavements can be used both in constructing new roads and reconstructing old ones.

THE ECONOMICAL COMPARISON BETWEEN CONCRETE AND ASPHALT PAVEMENTS



Comparison is made for 2+2 lane motorway cross-section.

Calculation time is 45 years. Interest rate is 6 %.

Rutting caused by studded tires is repaired separately on each lane when needed.

The wear resistance against studded winter tires of concrete (compressive strength 90 MPa) is estimated to be 3-4 times better than the wear resistance of split mastix asphalt (SMA).

ALKUSANAT

Tämä betonipäälysteen valinta ja talous - raportti on laadittu silmälläpitäen tulevien betonipäälystyskohteiden valintaa Suomessa. Ohjeet on laadittu yhtenä osana Tielaitoksen BETTIE-projektia. BETTIE-projektin tehtävänä on selvittää korkealuokkaisten betoniteiden tuotantoedellytyksiä maassamme. Tämä BETTIE-projektiryhmän loppuraportti on laadittu Tielaitoksen toimesta Viatek-Yhtiöt Oy, Turun toimiston toimiessa konsulttina. BETTIE-projektiryhmä on valvonut ja ohjannut työtä. BETTIE-projektiryhmään kuuluvat seuraavat henkilöt:

Kari Moijanen	TIEL/Sk
Matti Hämäläinen	TIEL/Th
Kari Lehtonen	TIEL/Kk
Reijo Orama	TIEL/Gk
Kurt Lundström	RTT
Kari Sivula	RTT
Jussi Rahiala	Turun tiepiiri
Anssi Lampinen	AL-Engineering Oy
Pekka Ala-Tuuhonen	Turun Viatek

Raportin tausta-aineistona ovat olleet kotimaiset, ruotsalaiset, saksalaiset ja yhdysvaltalaiset betonipäälysteiden taloudellisuuteen liittyvät selvitykset ja tutkimukset.

Turun Viatekissa työstä on vastannut rak.ins. Pekka Ala-Tuuhonen. Työhön on myös osallistunut dipl.ins. Harri Mäkelä Viatek Tapiola Oy:stä, kohta 3.5, sekä tekn.tri Anssi Lampinen AL-Engineering Oy:stä, kohta 3.2.

Sisältö

TIIVISTELMÄ	5
ABSTRACT	6
ALKUSANAT	7
1. JOHDANTO	11
2. BETONIPÄÄLLYSTEET TÄNÄÄN MEILLÄ JA MUUALLA	12
2.1 Betonipäällysteiden historiaa	12
2.2 Betonipäällysteet Suomessa	13
2.3 Betonipäällysteet Keski-Euroopassa ja Yhdysvalloissa	14
3. BETONIPÄÄLLYSTEIDEN SUUNNITTELU JA RAKENTAMINEN	15
3.1 Betonipäällysteen rakenne	15
3.2 Laatan paksuusmitoitus	17
3.2.1 Mitoitukseen vaikuttavat muuttujat	17
3.2.2 Liikennekuormituksen vaikutus	17
3.2.3 Lämpötilagradientin vaikutus	18
3.2.4 Kuormituksen sijainti laatalla	18
3.2.5 Laatan mitat	19
3.2.6 Mitoituskuormitustapaukset	19
3.2.7 Mitoitus	20
3.2.8 Erikoistapaukset	20
3.3 Betonille asetettavat vaatimukset	20
3.4 Alustalle asetettavat vaatimukset	21
3.5 Pohjaolosuhteet ja alustalle asetettavat vaatimukset	22
3.6 Betonipäällysteen rakenne ja tyyppipoikkileikkaukset Suomessa	24
3.6.1 Betonipäällysteen rakenne	24
3.6.2 Betonipäällysteisen tien tyyppipoikkileikkaukset	25
4. TEKNISTALOUELLINEN LASKENTAMALLI	26
4.1 Päällystetyyppien kustannusvertailun lähtökohdat	26
4.1.1 Rakennuskustannusten vertailu	26
4.1.2 Kunnossapitokustannusten vertailu	26
4.1.3 Kustannusten yhteenlaskenta	28
4.1.3.1 Jäännösarvojen laskentaperusteet	29
4.1.4 Vertailujen suoritus	29
4.2 Kustannusvertailujen tuloksia	29

5. BETONIPÄÄLLYSTYSKOHTEIDEN VALINTAAN VAIKUTTAVIA TEKIJÖITÄ	31
5.1 Päällysteen ominaisuudet	31
5.1.1 Melu	31
5.1.2 Kitka	32
5.1.3 Tasaisuus	33
5.1.4 Vierintävastus	34
5.1.5 Valonheijastusominaisuudet	35
5.1.6 Kulutuskestävyys	35
5.1.7 Kunnossapito	37
5.1.8 Liikennehaitat	38
5.2 Betonipäällysteen talous	39
5.2.1 Betonipäällysteen kustannusrakenne	39
5.2.2 Rakennuskustannukset	39
5.2.3 Kunnossapitokustannukset	40
5.2.4 Liikennehaittakustannukset	40
5.2.5 Betonipäällysteiden keskinäinen taloudellisuusvertailu	41
5.2.6 Betonipäällysteen K 90 ja SMA-päällysteen vertailu	42
5.3 Betonipäällystekohteen luonne	43
5.3.1 Betonipäällystekaluston aiheuttamat rajoitukset	43
5.3.2 Betonipäällysteen rakenteen vaikutus valintaan	43
5.3.3 Betonipäällysteisen tien poikkileikkaus	44
5.3.4 Betonipäällyste ja vaiheittain rakentaminen	44
6. YHTEENVETO	45
7. JATKOTOIMENPITEET	46
KIRJALLISUUSLUETTELO	47
LIITTEET	48

1. JOHDANTO

Tielaitoksessa on ollut käynnissä vuodesta 1990 korkealuokkaisten betoniteiden tuotantoedellytyksiä selvittävä ns. Bettie-projekti. Projektiryhmän selvitystehäviin ovat kuuluneet mm.

-Betonipäällysteiden teknillisten ohjeiden laatiminen:

- Betonipäällysteiden ohjeet:

- * Urakkaohjelma
- * Työselitys
- * Tyyppipiirustukset
- * Laadunvalvonta ja -varmistus

- Betonipäällysteen kunnon seuranta ja kunnossapito-ohjeet

-Teknistaloudellisten vertailujen tekeminen ja vertailujen laadintaohjeet

-Uusien betonipäällystyskohteiden paikallistaminen

Tämän betonipäällysteen valinta ja talous raportin tarkoituksena on ollut selvittää ne teknilliset ja taloudelliset valintakriteerit mitä seuraavien betonipäällystyskohteiden valinnassa tulisi ottaa huomioon. Raportin tarkoituksena ei ole yksiselitteisesti määritellä milloin pitäisi käyttää betonipäällystettyä ja milloin asfalttipäällystettyä vaan esittää se valintaprosessi miten eri päällysteet valitaan.

Raportissa esitellään teknistaloudellisen vertailun tuloksina meidän oloihimme parhaiten soveltuvat betonipäällysrakenteet erilaisille liikennemäärille.

Tähän raporttiin liittyy taloudellisuusvertailujen ja betonipäällysteen mitoitusta varten kehitetty Excel 4,0 - Windows taulukkolaskentaohjelmaan pohjautuva laskentaohjelma. Ohjelma jakautuu erikseen taloudellisuusvertailu-osaan ja varsinaiseen betonilaatan mitoitushjelmaan. Ohjelmat on linkitetty toisiinsa siten, että mm. mitoitushjelman tuloksia voidaan käyttää suoraan betonipäällysteen rakennuskustannuksia laskettaessa.

2. BETONIPÄÄLLYSTEET TÄNÄÄN MEILLÄ JA MUUALLA

2.1 Betonipäällysteiden historiaa

Betonia alettiin valaa katu- ja tiepäällysteeksi kun nykyaikaisen betonin käyttösovellutukset kehittyivät Portland-sementin keksimisen jälkeen (v. 1824). Yksittäisiä betonipäällysteprojekteja tiedetään toteutetun useissa Euroopan maissa ja Yhdysvalloissa 1800-luvun viimeisinä vuosikymmeninä. Laajempi mielenkiinto betonipäällysteeseen virisi vasta vuosisadan vaihteen jälkeen, kun moottoriajoneuvo ja ilmarenkaat oli keksitty (1877) ja teiltä ja kaduilta alettiin vaatia soraa parempaa kantavuutta ja kiveystä parempaa tasaisuutta. Lentoliikenteen kehittyminen avasi betonille myös sopivan sovellutusalueen lentokenttien päällysteenä.

Ensimmäiset betonipäällysteet tehtiin käsin sullomalla ilman raudoitusta ja ilman saumoja. 1900-luvun alkuvuosista lähtien tulivat poikkisaumat käyttöön - ensin laajennussaumat, sitten kutistumissaumat. Myös laatan raudoittaminen ja saumaterästen käyttö yleistyi. Raudoittamisen myötä laatat pitenivät. Niinpä 15 metrin, jopa 30 metrin laattapituuksia oli käytössä. Laatan mitoittaminen oli pitkään kokemusperäistä, mutta 1926 julkaistiin ns. Westergaardin laskukaavat, ja nämä kaavat kehiteltyinä ovat edelleen pohjana useimmissa betonipäällysteen mitoitusmenetelmissä.

Työtekniikassa tapahtui myös kehitystä: käsin levitys ja sullominen teki tilaa koneellisille sulloille ja levityslaitteille jo 1920-luvulla; varsinaiset tärysilloilla varustetut levityskoneet tulivat käyttöön 1930-luvun alussa.

Päällystysmäärät olivat Euroopassa varsin vähäisiä vielä 1910- ja 1920-luvuilla. Sen sijaan Yhdysvalloissa oli jo vuonna 1925 n. 600 milj. m² betonipäällysteitä. Yleismaailmallisen talouslaman jälkeen lähti autoistuminen ja päällystettyjen teiden rakentaminen voimakkaasti käyntiin 1930-luvulla myös Euroopassa, ja vuosikymmenen kuluessa päällystymäärät moniker- taistuivat kaikkialla. Erityisesti silloisessa Saksassa kehitys oli voimakasta: vuoteen 1942 mennessä oli kymmenen vuoden aikana rakennettu melkein 4000 km nelikaistaisia moottoriteitä, 2500 km oli rakenteilla ja kaikki betonipäällysteisinä.

Suomessakin oli 1930-luvun lopussa n. 60 km betoniteitä - lähinnä Helsingin ja Turun sisääntuloteillä - eikä tätä määrää ole sen jälkeen ylitetty.

Sotien jälkeinen taloudellinen nousukausi käynnisti 1950-luvun loppupuolelta lähtien suuria tienrakennusohjelmia kaikkialla kehittyneissä maissa. Vaikka betonipäällyste menetti näissä ohjelmissa sotia edeltäneen suhteellisen valta-asemansa asfaltille, myös betonipäällystymäärät lisääntyivät voimakkaasti. Samalla betonipäällysteen rakennetta ja työtekniikkaa kehitettiin jatkuvasti, mikä on edelleen parantanut palvelutasoa ja pitkäaikaiskestävyyttä - sekä ylläpitänyt kilpailukykyä myös halvan bitumin olosuhteissa.

Betonipäällyste on vakiinnuttanut asemansa raskaimmin liikennöityjen korkealuokkaisempien pääteiden päällysteenä Länsi-Euroopassa ja Yhdysvalloissa.

Merkittävin muutos betonipäällystetekniikassa on viime vuosikymmeninä ollut liukuvalukoneiden käyttöönotto 1970-luvun alussa ja tästä aiheutuneet muutokset rakenteessa, kuten laatan raudoituksen ja liikuntasaumojen pois jääminen sekä laattojen lyheneminen.

1980-luvulle tultaessa oli kehittyneiden maiden päätieverkko tullut pääosiltaan rakennetuksi; laajat tieverkon kehittämisohjelmat olivat siirtyneet kehitysmaihin ja kehittyneissä maissa päähuomio kiinnittyi vanhenevien päällysrakenteiden vahvistamiseen yhä kasvavan raskaan liikenteen olosuhteissa.

Betonipäällysteet ovat kuvassa mukana myös näitä uusia haasteita ratkaistessa. Suunnitteluohjeita on parannettu ja korjaamisen ja kunnostuksen käsikirjoja on julkaistu. Myös taloudellinen tietämys on parantunut niin, että betonipäällystettä voidaan luotettavasti vertailla hankekohtaisessa suunnittelussa.

2.2 Betonipäällysteet Suomessa

Betonisia tiepäällysteitä rakennettiin vuosina 1926 - 1939 yhteensä 360.000 m². Ne sijoituivat pääasiassa Helsingin ja Turun sisääntuloteille. Sotien jälkeen on Suomessa rakennettu n. 160.000 m² betonipäällysteisiä teitä.

Vaikka sotien jälkeiset betonipäällystekohteet tieverkolla ovat harvalukuisia, on niiden suunnittelussa ja rakentamisessa pyritty seuraamaan alalla tapahtunutta nopeaa kehitystä. Viimeisimmät päällysteet ovat oloihimme hyvin sopivia, suunnittelultaan moderneja päällysteitä, joiden rakenteellinen kestävyys on hyvä.

Taulukossa 1 esitetään merkittävimmät sodanjälkeiset betonitiekohteet Suomessa.

Viimeisimmät betonitiekohteet Kempele - Kiviniemi vt 4/8 ja Karhunkorven betonitie vt 3 osoittavat, että betoniteiden rakentaminen hallitaan myös Suomessa. Levityskalusto näihin kohteisiin hankittiin Keski-Euroopasta, koska toistaiseksi betonipäällystyskohteita on Suomessa vähän ja pääoman seisottaminen kalliissa kalustossa ei ole kansantaloudellisesti järkevää.

Oulun ja Karhunkorven betonitiekohteissa on päällysteen tasaisuus ja kulutuskestävyys saatu hyvälle tasolle. Ongelmana näissä kohteissa on käytettyjen saumamateriaalien sopimattomuus korkealujuusbetoneihin. Normissa on menestyksellisesti käytetty kutistumissaumatyyppinä pelkkää 3 - 4 mm sahausta ilman mitään saumanauhaa tai -massaa.

Betonipäällysteiden suunnittelussa on meillä Suomessa käytössä Betonipäällysteet, Suunnitteluohjeet 1988 (BY 28) sekä Betonipäällysteiden väliaikaiset ohjeet 1990 - 1991. Betonipäällysteiden suunnitteluohjeita 1989 on täydennetty mitoituskäyrästöjen osalta lujuusluokkiin K60 -K90. Betonilaatan mitoituksessa on apuna myös tätä varten kehitetty mitoitusohjelma Excel 4.0, Windows-taulukkolaskentaohjelman pohjalta.

Taulukko 1: Merkittävimmät sodanjälkeiset betonitiekohdeet Suomessa

MERKITTÄVIMMÄT BETONITIE-KOhteet Suomessa	PIT. (m)	LEV. (m)	PAKS. (cm)	SAUMA- VÄLI (m)	BET. LUJ.	RAK. VUOSI
YLIKYLÄ - PARAINEN mt 180, Kaarina, Parainen	12600	2 x 3,50	18	15 (joka kolmas on liikunta- sauma)	K32	1958- 1959 (asv.1984)
KEHÄ III kt 50, Vantaa	720	2 x 3,75	20	5	K30-50	1971 (asv.1985)
PALOJÄRVI - OLKKALA vt 2, Vihti	1100	2 x 3,75	20	5	K40	1973 (asv. 1984)
KALKKITIE katu, Parainen	1943	2 x 3,66	20 18	5 4,5	K40	1981 1982
RAJANIEMI - LAKALAIVA kt 45, Pirkkala	2050	2 x 4,25	20	5	K40	1983(*)
VILLÄHDE - NASTOLA vt 12, Nastola	2450	2 x 4,25	22	5	K60	1984(**)
KEMPELE - KIVINIEMI vt 4, vt 8, Oulu, Kempele	4040	2 x 4,50	22	5	K55	1990
KARHUNKORPI vt 3, Nurmijärvi	4550	2 x 4,50	22	5	K90	1991

(* peruskorjattu 1992: tasausjyrsintä + timanttihionta

(** tasausjyrsitty 1991, asfaltoitu 1993

Vt 4/8 Kempele - Kiviniemi betonipäällystekohdetta on tarkoitus seurata koko sen laskennallisen käyttöiän (30 v.) ajan. Tästä seurantatyöstä saadaan arvokasta tietoa betonipäällysteiden kehitystyötä varten.

2.3 Betonipäällysteet Keski-Euroopassa ja Yhdysvalloissa

Betonipäällysteiden rakentamisella on Keski-Euroopassa ja Yhdysvalloissa jo pitkät perinteet. Betonin käyttö teiden päällystemateriaalina yleistyi 1920-luvulta lähtien. 1930-luvulla Saksan rakentaessa moottoritieverkostoaan yleisin ja lähes ainoastaan käytetty päällystemateriaali oli betoni. Ennen toista maailman sotaa Saksassa rakennettiin 63 milj. m² betonipäällysteitä. Sotien jälkeen Saksan länsiosassa on betonipäällysteitä tehty n. 88 milj. m².

Yhdysvalloissa on betonipäällysteitä käytetty lähes jokaisessa osavaltiossa. Vuonna 1925 betonipäällysteitä oli n. 30 % silloisesta päällystepituudesta. Nykyisestä Interstate-moottoritieverkostosta on noin 50 % betonipäällysteisiä.

Betonipäällysteen rakennetyypit vaihtelevat Keski-Euroopassa maasta ja Yhdysvalloissa osavaltiosta riippuen. Perusratkaisut ovat samantyyppisiä, mutta rakenteet vaihtelevat raudoituksen, alusrakenteen ja saumarakenteiden osalta.

3. BETONIPÄÄLLYSTEIDEN SUUNNITTELU JA RAKENTAMINEN

3.1 Betonipäällysteen rakenne

Betonipäällystetyypit

Halkeamaraudoitetuissa betonipäällysteissä laatat ovat 15 m pitkiä teräsverkolla keskeisesti raudoitettuja laattoja. Rauditus pitää lämpötilavaihteluiden betoniin aiheuttamat hiushalkeamat mahdollisimman pieninä. Laattojen suurehkon pituuden takia tehdään yleensä joka kolmas sauma liikuntasaumaksi. Päällystetyyppi on jäänyt pois käytöstä ajomukavuutta heikentävien liikuntasaumojen sekä rauditusverkon korroosion vuoksi.

Jatkuvasti raudoitetuissa betonipäällysteissä asetetaan laattaan pituussuuntainen rauditus, jonka tehtävänä on pienentää betoniin kohdistuvia vetojännityksiä. Poikkisaumoja ei tässä päällystetyypeissä tehdä lainkaan, jolloin laattaan saa vapaasti muodostua poikkittaisia hiushalkeamia. Raudituksensa takia tämä päällystetyyppi on huomattavasti muita päällystetyyppejä kalliimpi. Eräissä maissa, kuten Belgiassa ja Ranskassa, tämä päällystetyyppi on hyvin kilpailukykyinen ja yleisesti käytetty.

Jännitetyissä päällystetyypeissä laatan raudoitukset jännitetään, jolloin saadaan valmistettua useiden kymmenien metrien mittaisia yhtenäisiä laattoja, esim. lentokentillä.

Raudoittamattomat, saumateräksin varustetut betonipäällysteet ovat Suomen olosuhteisiin sopivin betonipäällystetyyppi. Siinä pituussuuntaisten saumojen ankkuriterästen lisäksi varustetaan myös poikkisuuntaiset saumat saumateräksillä.

Raudoittamattomia betonipäällysteitä käytetään joissakin maissa myös ilman poikkisaumojen saumateräksiä. Saumateräkset asetetaan ainoastaan pituussuuntaisiin saumoihin. Kuormansiirto poikkisuuntaisissa saumoissa tapahtuu tällöin vain kiviainesrakeiden välityksellä. Päällystetyypin etuna on muita halvempi hinta, mutta riskinä saumojen porrastuminen ajan myötä.

Jyräbetonipäällysteessä maakostea betonimassa levitetään ja tiivistetään asfalttipäällysteen tapaan. Saumat sahataan samoin kuin yleensä lyhytlaattaisissa päällysteissä, mutta minkäänlaista raudoitusta ei laatoissa eikä saumoissa käytetä.

Asfaltilla pinnoitetut betonipäällysteet tehdään levittämällä betonipäällysteen päälle ohut asfalttikerros. Tämä voidaan tehdä jokaisen betonipäällystetyypin päälle. Tällöin betonilaatan paksuutta voidaan yleensä ohentaa betonipinnan epätasaisen kulumisen varalle varatun jyräntävaran verran. Tämä päällystetyyppi tulee kysymykseen vain tapauksissa, jolloin betoni ei ole suhteitettu kestämiään kulutusta tai silloin kun ei haluta päällysteeseen värieroja.

Päällystelaatan ja sauman rakenne

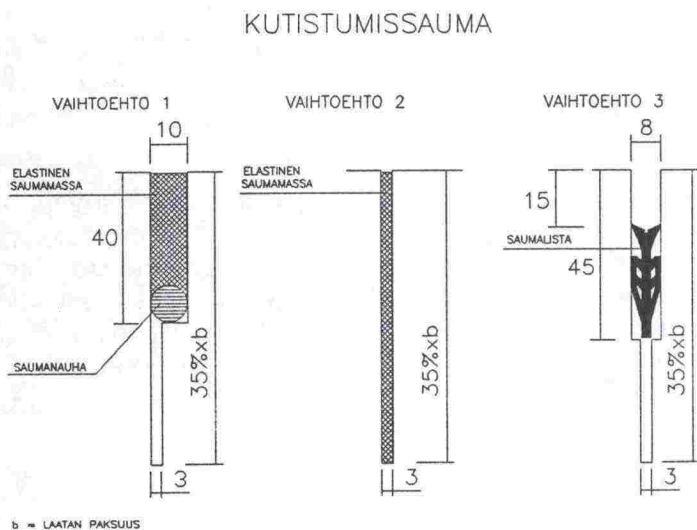
Raudoittamattomissa betonipäälysteissä päälystelaatta valetaan ilman raudoitusta. Kutistumissaumojen väli tulisi olla enintään 25 x laatan paksuus, jotta laatan liikkeet jäisivät pieniksi. Laatan paksuus Suomessa vaihtelee 150 - 260 mm. Laatan leveys määräytyy ajokaistan leveyden mukaan. Keskisauma pyritään tekemään keskiviivan maalauksen viereen ja laatan uloimmainen reuna ulotetaan vähintään 0,5 m reunaviivan ulkopuolelle, jossa se voi liittyä esim. asfaltti- tai betonipientareeseen.

Päälysteeseen sahattavat saumat ovat kutistumissaumoja, joiden liikkeet ovat enintään 1 mm luokkaa. Liikuntasaumoja tehdään ainoastaan kiinteiden rakenteiden kuten siltojen kohdille. Poikkisuuntaiset saumat tehdään yleensä kohtisuoraan keskiviivaa vasten, mutta myös vinoja saumoja on käytetty. Tällöin raskas liikenne ei pääse aiheuttamaan säännöllisiä dynaamisia iskuja saumoihin, mikä voi vaurioittaa saumoja ja huonontaa tasaisuutta. Vinoissa saumoissa esiintyy kuitenkin asennus- ja mitoitusongelmia, eivätkä ne ole yleistyneet kylmissä maissa. Saumateräokset asetetaan suunniteltujen saumojen saumakohtiin ennen valua tai valun yhteydessä. Saumaan tehdään kaksi sahausta, joista syvempi ja kapeampi sahaus toimii halkeamanmuodostajana. Matalamman ja leveämmän sahauksen pohjalle asetetaan saumanauha, joka estää saumatäytteenä käytettävän elastisen saumamassan valumisen sauman pohjalle. Saumanauhan yläpuolinen osa saumaraosta täytetään saumamassalla, jonka tarkoituksena on tarttua saumaraon seinämiin ja estää veden ja mahdollisten epäpuhtauksien pääsy saumarakoon.

Saumarakenteena voidaan käyttää myös neopreenikumista valmistettua saumalistaa, joka korvaa erilaiset saumamassat ja saumanauhat. Tämä saumatyyppi on yleistymässä esim. Saksassa.

Norjassa on käytössä saumatyyppi, jossa 3 - 4 mm sahaus jätetään avarussahaamatta ja täyttämättä. Korkealujuusbetonien yhteydessä on tästä saumatyypistä Norjassa hyviä kokemuksia.

Erilaiset kutistumissaumarakenteet on tarkemmin esitetty kuvassa 1.



Kuva 1: Betonipäällysteen kutistumissauma

3.2 Laatan paksuusmitoitus

Betonipääallysteen paksuusmitoitukseen on saatavissa erillinen mitoitusohjelma joka on tehty taulukkolaskentaohjelman EXEL 4.0 pohjalle.

Ohessa tarkastellaan lähemmin betonilaatan paksuusmitoitukseen vaikuttavia seikkoja ja sen perusteita.

3.2.1 Mitoitukseen vaikuttavat muuttujat

Betonipääallysteen paksuusmitoituksen periaatteena on tarkastella kuormitusten pääallysteeseen aiheuttamia taivutusvetojännityksiä. Puristuslujuus vaikuttaa myös mitoitukseen, mutta epäsuorasti pääallysteen nastarengas- ja pakkasrasituskulutuskestävyyden kautta. Jokainen kuormitus - sekä pistemäiset että pyöräkuormitustyyppiset ja lisäksi lämpötilamuutokset - aiheuttaa laattaan jännitystilaa. Mitoituksessa huolehditaan siitä, että laatan paksuus ja taivutusvetolujuus ovat riittävän suuret estämään laatan murtumisen. Kuormitusten aiheuttamat kokonaisjännitykset eivät siten koskaan saa käyttöiän aikana ylittää laatan taivutusvetolujuutta. Käytännössä sallitut taivutusvetojännitykset saavat olla korkeintaan n. 50...80 % betonin taivutusvetolujuudesta kuormituskertojen lukumäärästä riippuen, ts. betonin väsytyslujuuden perusteella. Betonipääallysteen paksuusmitoitus perustuu keskeisesti väsymisrasituksen hallintaan.

Paksuusmitoituksessa vaikuttavat seuraavat muuttujat, joita on tarkasteltava pääallysteen suunnittelun ja mitoituksen yhteydessä:

- betonin taivutusvetolujuus
- alustan kantavuus (alustaluku k ja kantavuusarvo E2)
- laatan mitat, pituus ja leveys ja niiden suhde
- saumojen toimintaperiaatteet (saumatangot, ankkuritangot, sauman rakenne)
- liikenteen sijainti laatalla
- liikennekuormitus (pyöräkuormituksen suuruus ja muoto)
- lämpötilajännitys (ilmasto-olot, maantieteellinen sijainti)

Mitoituksessa tarvittavat kaavat on esitetty esim. teoksessa "By 28: BETONIPÄÄALLYSTEET, Suunnitteluohjeet 1989".

3.2.2 Liikennekuormituksen vaikutus

Liikennekuormitus tarkoittaa kuorma-auton tai muun raskaan ajoneuvon pyöräkuormituksen suuruutta. Pyöräkuormitus voi olla jakaantunut yhdelle tai kahdelle pyörälle. Mitoituksessa kuormituspinta-alan suuruuden ja pintapaineen laskemiseksi tarvittavat lähtötiedot ovat:

kokonaispyöräkuorma, kN
rengaspaine, kPa
renkaiden väli k/k, mm

Mitoitusmenetelmä ei aseta esteitä esim. erittäin suurien kaivoksissa käytettävien ajoneuvojen käyttämisestä paksuusmitoituksessa.

Muut tarvittavat lähtötiedot liikennekuormituksen perusteella määritettyjen sallittujen kuormituskertojen laskemiseksi ovat:

liikennemäärä
mitoituskä
ajoneuvolajien %-osuudet (tiemitoituksessa)

lhannetapauksessa mitoituksessa käytetään todellisia pyöräkuormituksia ja niiden jakaumia. Tie- ja katuliikenteessä käytetään kuitenkin ajoneuvotyypeittäin laskettuja ekvivalentteja kuormitusvastaavuuksia perustana 100 kN:n akseli-paino. Mitoitusohje sisältää oletusarvona "normaalin" eri ajoneuvotyyppien jakauman. Jos liikenne on oleellisesti erilainen, voidaan mitoitusohjelmaan antaa ko. mitoitustapauksen kuormitusjakaumat.

Liikennekuormitus määrää täysin mitoituksen silloin, kun päällyste sijaitsee tasalämpöisissä oloissa, kuten tunneleissa, kaivoksissa, maanalaisissa tiloissa jne. Sen sijaan tie- ja katupäällysteiden mitoituksessa on otettava huomioon myös päällysteen epätasaisen lämpöjakauman aiheuttama jännitys.

3.2.3 Lämpötilagradientin vaikutus

Päällysteen lämpötilamuutokset ilman lämpötilasta, suorasta auringonpaisteesta yms. muuttujien vaikutuksesta aiheuttavat laattaan sekä pituudenmuutoksia (tasainen lämpötilamuutos laatan eri osissa) että laatan käyristymistä (lämpötilaerot laatan syvyysuunnassa). Betonilaatan mitoitukseen vaikuttaa se, että laatan yläpinnan ollessa lämpimämpi kuin alapinta laatta muuttuu kuperaksi. Laatan omapaino taivuttaa laattaa kuitenkin takaisin suoraksi, joten laatan alapintaan syntyy vetojännitystä ja yläpintaan puristusjännitystä.

Betonipäällyste mitoitetaan tämän lämpötilan aiheuttaman taivutusvetojännityksen ja samanaikaisen pyöräkuormituksen aiheuttaman taivutusvetojännityksen yhteisvaikutukselle. Sallittujen kuormituskertalukujen määrään vaikuttaa erityisesti liikennekuormituksen lämpötilagradientin aiheuttamien jännitysten suhde.

Mitoituksessa käytetään Suomessa lämpötilagradientille lukuarvoa $0,07^{\circ}\text{C}/\text{mm}$, ts. oletetaan mitoittavan lämpötilaeron olevan $0,07 \cdot 200 = 14^{\circ}\text{C}$ laatan paksuuden ollessa 20 cm. Lämpötilagradienttiin vaikuttaa päällysteen maantieteellinen sijaintipaikka.

Esim. Keski-Euroopassa käytetään lukuarvoa $0,09^{\circ}\text{C}/\text{mm}$, joten olisi ilmeisen perusteltua esim. Pohjois-Suomessa käyttää mitoitusarvona em. mitoitusarvoa alhaisempaa lukuarvoa. Toistaiseksi tutkimusmateriaali kuitenkin puuttuu.

Lämpötilagradientin suuruus vaikuttaa siten, että mitä suurempi gradientti sitä suurempi taivutusvetojännitys.

Lämpötilagradienttiin vaikuttaa tiettyyn rajaan saakka lisäksi laatan fyysiset mitat: mitä pitempi laatta sitä suurempi jännitys.

3.2.4 Kuormituksen sijainti laatalle

Kuormituksen sijainnissa laatalle voidaan erottaa neljä tapausta, joiden likimääräiset keskinäiset suhteet liikenne- ja lämpökuormitusten aiheuttamien taivutusvetojännitysten perusteella on esitetty seuraavassa asetelmassa:

Kuormituksen sijainti	Pyöräkuormitus	Pyörä- ja lt.gradientti
1. pituusreunalla	1,00	1,00
2. poikkisauman vieressä	0,50...1,00	0,85
3. kulmassa	0,85	<0,70
4. sisäosalla	0,50...0,80	0,40...0,70

Käytännössä betonipäällysteen mitoitus tapahtuu laatan vapaan pituusreunan taivutusvetojännitysten perusteella, sillä poikkisauman saumateräkset ja sauman murtopinnan "aggregate interlock" pienentävät reunajännitystä. Ainoastaan silloin kun laatan leveys on suurempi kuin pituus voi poikkisaumaus tulla mitoittavaksi. Laatan kulmatapaus ei käytännössä koskaan muodostu mitoittavaksi ja poikkeustapauksessa silloin, kun kysymyksessä ovat suurehkot pyöräkuormat ja ohuet laattapaksuudet.

3.2.5 Laatan mitat

Laatan mitat vaikuttavat mitoitukseen lämpötilagradientin vaikutuksesta siten, että laatan pituus ja leveys voidaan luokitella kolmeen ryhmään:

pituus on alle 90 % kriittisestä pituudesta

pituus on 90...110 % “

pituus on yli 110 % “

Laatan kriittiseen pituuteen vaikuttavat betonin kimmomoduuli, lämpölaajenemiskerroin, lämpögradientti ja paksuus. Käytännössä kriittinen pituus on n. 6...8 m.

Koska lämpögradientin aiheuttamaan taivutusvetojännitykseen vaikuttaa voimakkaasti (2. potenssissa) laatan pituus on käytännöksi muodostunut n. 4...6 m laattapituus.

3.2.6 Mitoituskuormitustapaukset

Päällysteen mitoituksessa on tarkasteltava raskaan liikenteen kuormitusten sijoittumista eri kaistoille ja kullakin kaistalla laatan sisällä.

1. Kaksikaistaiset päällysteet

Kaksikaistainen tie on perustapaus, jossa liikenne voi mitoitusapauksessa sijaita joko laatan reunalla (kapea laatta) tai laatan sisällä (betonipiennar). Betonisen piennarosuuden leveyden perusteella voidaan pyöräkuormituksen aiheuttamaa taivutusvetojännitystä pienentää 10...20 % (25 cm = 10 % ja 50 cm = 20 %).

Jos laatan leveys on suurempi kuin pituus, on tarkistettava jännitys poikkisaumassa, jossa saumatankoja käytettäessä kuormituksen aiheuttamaa taivutusvetojännitystä voidaan pienentää 15 %.

2. Kolmi- ja useampikaistaiset tiet

Kolmi- ja useampikaistaisilla teillä ja katuosuuksilla on laskettava kunkin kaistan raskaan liikenteen määrät, niiden sijainti laattalla ja mahdolliset laattakaistojen ylitykset kaistaa vaihdettaessa.

Käytännössä laatan vapaalla ulkoreunalla kuormitukset aiheuttavat suurimmat jännitykset. Laatan pituussuuntaisten ankkuriteräksillä yhteen sidottujen ja samanaikaisesti valettujen saumojen vieressä voidaan pyöräkuormitusjännityksiä alentaa 20 %, joten ne eivät yleensä aiheuta mitoitusapauksia. Poikkisaumojen suhteen pätevät samat ohjeet kuin kaksikaistaisillakin teillä.

3.2.7 Mitoitus

Liikennekuormitukset

Mitoitusta varten tarvitaan alustan kantavuus (alustaluku k ja kantavuusarvo E_2), betonin taivutusvetolujuus, lämpögradientti, kuormituskertojen lukumäärä ja laatan mitat. Mitoitusohjelmaan syötetään alustan kantavuusarvo tai ohjelma laskee sen stabiloidun kerroksen paksuuden ja kimmomoduulin avulla, annetaan betonin taivutusveto- ja puristuslujuudet ja kuormitustapaukset sekä laatan mitat.

Annettujen tietojen perusteella ohjelma laskee iteroimalla päällysteelle sellaisen paksuuden, että se täyttää päällystettä kuormittavan liikenteen kuormituskertaluvun.

Päällysteen kuluminen

Päällysteen kuluminen lisätään liikennesuoritusten määräämään paksuuteen antamalla päällysteelle ominaiskulumisarvo $s = 0,xx \text{ mm/1000 ajon KVL/vuosi}$. Ohessa betonipäällysteiden ominaiskuluma-arvot (s) lujuusluokkien mukaan:

Betonin lujuusluokka	K50	K70	K90
Ominaiskuluma (s)	0.13	0.095	0.06

3.2.8 Erikoistapaukset

Edellä esitetyistä tapauksista poiketen mitoituksessa esiintyy tilanteita, jossa liikennekuormitus ylittää laattojen välisiä pituussaumoja. Tällöin on tarkasteltava pituussauman rakennetta ja ylityskertojen määrää. Mitoitusohjelmassa tämä tapahtuu seuraavasti:

Liikennekuormitus

Arvioidaan niiden liikennekuormitusten prosenttiosuus, jotka ylittävät pituussauman (esim. 10 % raskaan liikenteen kokonaismäärästä, jolloin laskelmiin sijoitetaan raskaan liikenteen %-osuudeksi $= 0,1 \cdot 0,15 = 0,015 \%$, jos 15 = raskaan liikenteen %-osuus KVL:stä).

Saumatyyppi

Sauman sijainti	Saumaraudoitus	Redusointi-%
Pituus (liukuvalu)	Ankkuriteräks	0,85
" (jälkivalu)	"	1,00 (=ei raud.)
" (pontti)	"	0,85

3.3 Betonille asetettavat vaatimukset

Päällystebetonin sideaineena yleisin on Portland-sementti, jonka lisäksi voidaan käyttää muita hyväksytyjä seosaineita. Lentotuhkan käyttö Suomessa on kielletty sen suolapakkaskestävyyteen kohdistuneiden epäilyjen takia.

Runkoaineena tulee käyttää pakkasenkestävää, lujaa ja tiivistä kiviainesta. Sen tulee täyttää kiviaineksen luokitusohjeen I-luokan vaatimukset. Muotoarvoltaan sen tulee täyttää I-luokan vaatimus. Yhä useammin karkeana kiviaineksena käytetään kalliomursketta, jonka ansiosta saumoihin saadaan parempi kuormansiirtokyky.

Lisäaineina voidaan käyttää huokostimia ja notkistimia, joiden sopivuus työhön on osoitettava ennakkokokeilla.

Esimerkkinä vuonna 1991 vt Karhunkorven betonitien betonille asetetut vaatimukset:

- taivutusvetolujuus 7,0 MN/m²
- puristuslujuus 75 MN/m²
- tilavuuden muutos suolapakkaskokeessa 3 %
(50 jäädytys-sulatuskerran jälkeen)
- hyvä kulutuskestävyys
- vesisideainesusuhde 0,35 - 0,42
- sideainemäärä > 350 kg/m³
- runkoaineen maksimiraekoko 18 mm

3.4 Alustalle asetettavat vaatimukset

Alustan laadulla on ratkaiseva merkitys betonin pitkäikäisyyteen. Koska betonipäälyste muodostaa itse kantavan rakenteen, ei alustan kantavuustavoite ole kuitenkaan ensisijainen.

Betonipäälysteen alustalta vaaditaan riittävää kantavuutta ($E_2 = 90 - 130 \text{ MN/m}^2$) ja kulkukelpoisuutta, pääasiassa työkoneiden takia. Liukuvalumenetelmässä tarvittavat laitteet vaativat työalustalta riittävää kantavuutta, tasaisuutta ja tiiviyttä.

Eroosionkestävyydeltään alustan tulee olla hyvä. Eroosion aiheuttamat epätasaisuudet alustassa voivat ajan oloon aiheuttaa mm. nurkkahalkeamia laatussa tai saumojen porrastuksia.

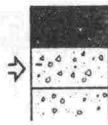
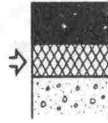
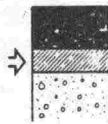
Hyvää kuivatusta vaaditaan sade- ja sulamisvesien nopeaan poisjohtamiseen. Huono kuivatus voi johtaa mm. laatan alustamateriaalin pumppautumiseen, joka edelleen voi aiheuttaa tyhjää tilaa laatan alle ja tätä kautta halkeilua ja hammastusta laatussa.

Laatan reunojen ja saumojen tuenta edellyttää alustalta riittävää tasalaatuisuutta. Alustan vedenimukyky tuoreesta päälysteestä tulee myös olla samanlainen joka kohdassa.

Edelleen työteknisistä syistä alustalta vaaditaan riittävää tasaisuutta. Alustan tasaisuus vaikuttaa liukuvalumenetelmässä myös päälysteen tasaisuuteen.

Yleisimmät materiaalit betonipäälysteen alustana ovat maabetoni, bitumisora, asfalttibetoni tai avoin asfalttibetoni. Meillä Suomessa ei saatujen kokemusten perusteella sitomattoman alustan käyttöä alustana suositella.

Kuvassa 2 on esitetty erilaiset betonipäälysteen alustan rakennevaihtoehdot.

Alustan laatu	Rakenne periaate	Etuja	Haittoja	Käyttökohteita	Erityisiä huomautuksia
A. SITOMATON ALUSTA		<ul style="list-style-type: none"> - halvin tapa - helppo muotoilla - luonnollinen kuivatus 	<ul style="list-style-type: none"> - eroosiovaara saumoissa ja reunoissa - muodonmuutosvaara rikkoontuneen, vanhan päällysteen alla - liukuvalukone saattaa 'kaivautua' - epätasainen kantavuus 	<ul style="list-style-type: none"> - aina alempiluokk. teillä ja pienillä liikennemäärillä - jatk. raudotteilla laatoilla ja 'junakoneilla' myös suurilla liik.määrillä 	<ul style="list-style-type: none"> - hyvä veden läpäisevyys tärkeää - karkea ja kantava materiaali tärk. - sitomaton alusta on riittävä laatan teor. mitoituksen kannalta
B. SEMENTILLÄ SIDOTTU ALUSTA		<ul style="list-style-type: none"> - antaa hyvän työalustan koneille - parantaa saumojen toimintaa - varmistaa tasaisen kantavuuden - vähentää laatan jännityksiä, mikä voidaan huomioida mitoituksessa - tekee mahdolliseksi heikompien kiviainesten ja uusiomateriaalien käytön - tasaa roudan vaikutusta 	<ul style="list-style-type: none"> - laatan halkeiluvaara - alustan ja laatan yhteistoiminta hankala hallittava - eroosiovaara, jos sem.pit. alhainen - riittävä homogeenisuus ja tasaisuus vaikea saavuttaa alustalle ilman liukuvalua 	<ul style="list-style-type: none"> - yleensä aina, jos laatta ilman saumateräksiä - yhä useammin liukuvalukohteissa päteillä - yhä useammin kaikissa betonipäällystekoh-teissa 	<ul style="list-style-type: none"> - laatan ja alustan yhteistoiminnan vaikutus mitoitukseen puhuttaa tutkijoita - laihabetonissa kiviaines parempaa, sementtiä enemmän, liukuvalu - kuivatus tärkeää
C. BITUMILLA SIDOTTU ALUSTA		<ul style="list-style-type: none"> - antaa parhaan työalustan koneille - tasaisuus ja homogeenisuus helppo saavuttaa - työaikainen liikenne helpottuu - tukee hyvin laattaa 	<ul style="list-style-type: none"> - kallein rakentamistapa? - eroosiovaara bitumistabiloinnilla 	<ul style="list-style-type: none"> - vaihteittain rakennettaessa - vanhojen asf. teiden kunnostamisessa - käyttö lisääntymässä myös uusilla teillä 	<ul style="list-style-type: none"> - yhteistoimintaa ei tunneta

Kuva 2: Betonipäällysteen alustan rakennevaihtoehdot

3.5 Pohjaolosuhteet ja alustalle asetettavat vaatimukset

Laatuvaatimukset betonipäällysteen tasaisuudelle, painumille, routaliikkeille, kaltevuuden muutoksille, kuivatukselle, alusrakenteen kantavuudelle jne. ovat vastaavat kuin AB-päällysteelle. Pohjaolosuhteista johtuvat mahdolliset vahvistustarpeet ovat siten samoja. Betonipäällysteisen tien rajallisemmista korjaustavoista ja suuremmasta investointikustannuksesta johtuen on toimenpiteiden riskitason oltava kuitenkin hallitumpi kuin asfalttipäällysteellä. Riskien hallinta voidaan toteuttaa suunnitteluun panostamalla.

Vastaavasti myös korjaustoimenpiteiden kalleus edellyttää alusrakenteen laadunvarmistamisen lievää korostamista. kaiken kaikkiaan rakenneratkaisut ovat päällysrakenteen yläosan alla samoja, mutta suunnittelussa on pientä eroa kerralla valmiiksi rakentamisesta ja vaihteittain rakentamisesta (tai mahdollisuudesta) johtuen.

Suomen maaperän pienipiirteisyydestä johtuen suunnittelussa tulee kiinnittää erityistä huomiota rakenteen vakavuuden tarkasteluun, siirtymärakenteiden suunnitteluun sekä painumien ja routanousujen arviointiin. Pohjatutkimus- ja suunnittelumetodiikan kehittymisen vuoksi kysymys on käytännössä asiantuntemuksen hyödyntämisestä ja soveltuvien menetelmien käytöstä.

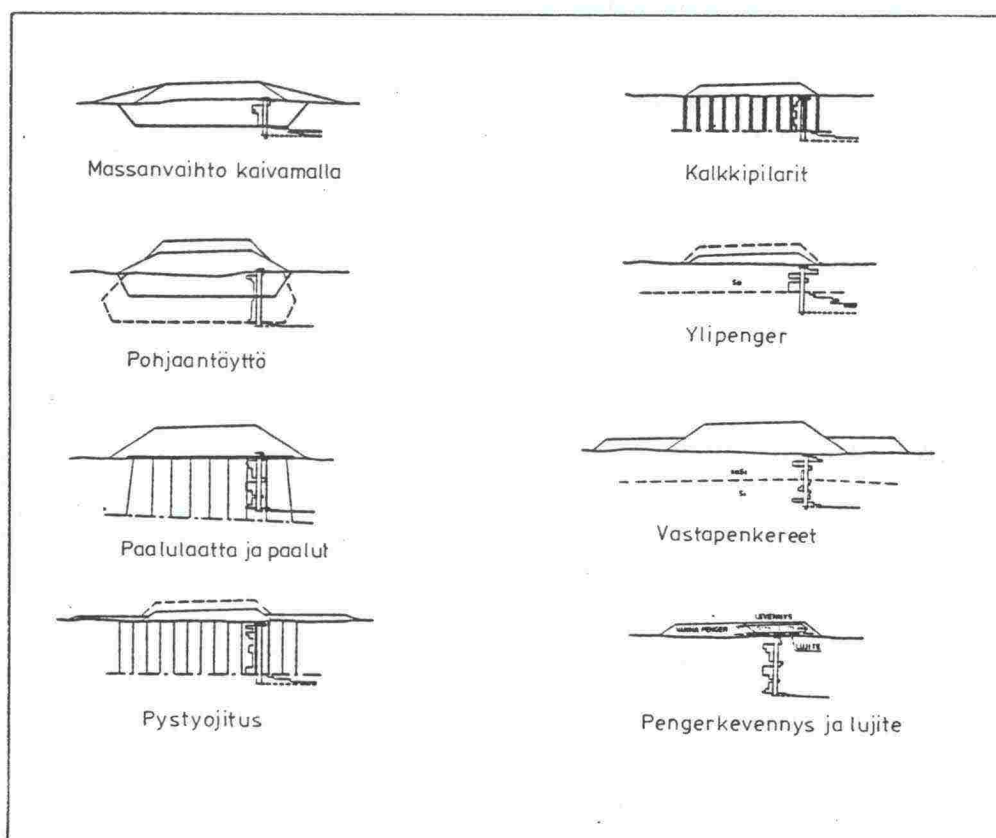
Rakennuspohjat voidaan geoteknisesti jakaa erittäin vaikeisiin, vaikeisiin ja tavanomaisiin olosuhteisiin. painumien osalta erittäin vaikeissa olosuhteissa on tehtävä aina pohjanvahvistustoimenpiteitä. Menetelminä tulevat kysymykseen lähinnä (ks. kuva 7):

- massanvaihto kaivamalla
- syvästabilointi, kuten kalkkipilarointi
- ylipenkereet ja vaiheittain pengerrys
- paalulaatta ja paalut
- vastapenkereet
- pystyjoitus ja ylipenkereet
- pengerkevennys
- geovahvisteet yhdistettynä edellisiin

Pystyjoituksella ja ylipengerryksellä on myös mahdollista saavuttaa haluttu laatutaso, jos rakennusaikaa on riittävästi käytettävissä pehmeikön kuormittamiseksi ja jälkipainumien rajoittamiseksi.

Pohjanvahvistukset suunnitellaan siten, että

- kokonaispainumat rajoitetaan tien käyttöikäen enintään 350 mm:iin
- kokonaispainumat rajoitetaan päällysteen käyttöikäen 250 mm:iin
- pituuskaltevuuden muutos on päällysteen käyttöikäen alle 0,5 %
- sivukaltevuuden muutos on päällysteen käyttöikäen alle 1 %
- painumisnopeus on päällysteen käyttöikäen alussa enintään 30 mm vuodessa



Kuva 3: Pohjanvahvistusmenetelmiä

Eri pohjanvahvistusmenetelmillä saavutetaan erilainen lopputulos painumien osalta, joten suunnittelun tärkeä osa on siirtymärakenteiden suunnittelu. Siirtymärakenteiden pituuden ja leveyden määräävät pituus- ja sivukaltevuudelle annetut raja-arvot. Pohjanvahvistusmenetelmille on myös tekniset ja taloudelliset käyttöalueensa, jotka suunnittelussa selvitetään. Betonipäällysteen jäykkyyttä ei oteta painumatarkastelussa huomioon, mutta jäykkyys vaikuttaa painumaeroja tasaavasti.

Pohjanvahvistusmenetelmän käyttöön liittyy tärkeänä osana rakentamisen aikainen laadunvarmistus ja mahdollisten painumien tarkkailu. Betonipäällysteen rakentamisen aikana painumisnopeuden on oltava päällysteen käyttöiän alussa enintään yllä mainittu 30 mm/vuosi.

Pohjanvahvistustoimenpiteillä varmistetaan myös tien käytönaikainen vakavuus. Työnaikaisen vakavuuden varmistaminen on tärkeää sortumien aiheuttamien aikataulukysymystenkin vuoksi. Työn viivästyminen pienelläkin osalla tietä aiheuttaa vaikeuksia päällysrakenteen tekemiseen.

Routanousujen osalta tulee kiinnittää erityistä huomiota vaikeiden routaolosuhteiden rakenneratkaisuihin, siirtymäkiilapituuksiin ja -leveyksiin sekä rakenteen paksuusmitoitukseen.

Routanousut rajoitetaan:

- väylissä, joiden mitoitusnopeus on 100 - 120 km/h pakkasmäärällä F10 enintään 30 mm:iin ja pakkasmäärällä F50 enintään 50 mm:iin
- väylissä, joiden mitoitusnopeus on 80 km/h tai alhaisempi pakkasmäärällä F10 enintään 60 mm:iin ja pakkasmäärällä F50 enintään 100 mm:iin
- kaltevuuden muutos saa olla enintään 0,6 %

Maapohjan ja alusrakenteen kantavuuden osalta betonipäällysteen ja asfalttipäällysteen suunnittelu ei aiheuta eroavuutta. Sinänsä jäykkä betonipäällyste tasaa pienipiirteisiä kantavuusvaihteluita ja on käyttökelpoinen päällysrakenne erityisesti alhaisen kantavuuden omaavalle hiekalle rakennettaessa.

Geoteknisesti helppoja rakennuspaikkoja ovat routimattomat hiekka- ja sora- sekä kallioalueet.

3.6 Betonipäällysteen rakenne ja tyyppipoikkileikkaukset Suomessa

3.6.1 Betonipäällysteen rakenne

Seuraavassa taulukossa on mitoitusohjelmalla laskettu laatan paksuudet sidotulla alusrakenteella (maabetoni, bitumisora) 15000-45000 KVL:n liikennemäärälle.

Taulukko on laskettu seuraavilla olettamuksilla:

- käytettävä betonilaatu K 70 / K 90
- päällysteen käyttöikä 30 v.
- KVL tien avausvuonna 15 000 ajon./d
- KVL 30 vuoden kuluttua 45 000 ajon./d

- raskaan liikenteen osuus 15 % KVL:stä
- akselikuorma 10 t
- raskaan liikenteen jakauma normaalijakautuman mukainen
- mitoitusrenkaana on ns. super-single rengas, ilmanpaine 10 bar

Alusrakennevaihtoehtoina ovat :

- bitumisora 50 mm E=2500
- bitumisora 100 mm E=2500
- maabetoni 120 mm E=4000
- maabetoni 200 mm E=4000

Taulukko 2: Betonipäällysteen rakenne eri alusrakennevaihtoehtoilla

Alusrakenne	Betoni K 70	Betoni K 90
Bs 50 mm	258 mm	212 mm
Bs 100 mm	252 mm	206 mm
Mb 120 mm	247 mm	201 mm
Mb 200 mm	239 mm	193 mm

3.6.2 Betonipäällysteisen tien tyyppipoikkileikkaukset

Betonipäällysteisen tien tyyppipoikkileikkaukset on esitetty liitteessä 1. Poikkileikkaukset perustuvat Suomessa käytettyihin normaalityyppipoikkileikkauksiin. Tämän lisäksi on esitetty kaistaleveyksiltään normaalia leveämpi tyyppipoikkileikkaus mikä paremmin hyödyntää betonipäällysteelle ominaisen "laakeamman" uramuodostuksen. Kaistan leveydeltään suurempi poikkileikkaus vähentää tien kunnossapitotoimenpiteitä ja parantaa näin sen kokonaistaloutta.

4. TEKNISTALOUELLINEN LASKENTAMALLI

Vertailtaessa betonipäällysteen kustannuksia asfalttipäällysteisiin tulee laskelmissa ottaa huomioon koko päällysrakenne ja koko päällysteen käyttöikä. Vertailtavien rakenteiden täytyy olla täysin valmiiksi rakennettuja, jotta ne edes jotenkin ominaisuuksiltaan (kantavuus yms.) vastaisivat toisiaan. Alkuinvestoinniltaan betonipäällyste on kalliimpi, mutta vertailtaessa esim. vastaavaa kohdetta AB-rakenteisena valmiiksi rakennettuna ovat kustannuserot suhteellisen pieniä.

Taloudellisuusvertailu eri päällystetyyppien välillä tehdään rakentamis- ja kunnossapitokustannusten nykyarvoon ja tien pitoajan vuosikustannuksiin perustuen. Tarkka vertailu jo eri AB-päällysteiden välillä tulisi tehdä aina kun tien KVL > 6000 ajon/d. Vertailu AB-päällysteen ja betonipäällysteen välillä tulisi tehdä kun tien KVL > 15000 ajon/d. Taulukossa 2 on esitetty laskentamalli.

4.1 Päällystetyyppien kustannusvertailun lähtökohdat

Vertailu tehdään tien rakennus- ja kunnossapitokustannusten perusteella. Vertailuun voidaan lisätä, jos niin halutaan, kunnossapitotoimenpiteiden liikennehaittakustannukset.

4.1.1 Rakennuskustannusten vertailu

Rakennuskustannukset lasketaan jakavasta kerroksesta ylöspäin. Mahdolliset geotekniset lisätoimenpiteet lasketaan betonipäällysteen osalta erikseen. Yleisesti laskennoissa käytetyt vertailurakenteet:

- Tavanomainen AB-rakenne
- AB + Mb-rakenne (ns. superrakenteet)
- Betonipäällyste + maabetonialusta
- Betonipäällyste + bitumisora-alusta

Lasketaan kokonaiskustannukset tarkasteltavalle tieosalle.

4.1.2 Kunnossapitokustannusten vertailu

Laaditaan kunnossapitostrategiat kummallekin päällysteelle erikseen. Toimenpidevälit lasketaan teoreettisten urakuluma-arvojen mukaisesti.

Taulukko 2: Laskentamalli

RAKENNUSKUSTANNUKSET

+

KUNNOSSAPITOKUSTANNUKSET *)

+

KUNNOSSAPITOTOIMENPITEIDEN
AIHEUTTAMAT
AJONEUVOKUSTANNUKSET *)

KOKONAISKUSTANNUKSET
PÄÄLLYSTEEN JÄÄNNÖSARVOT

VUOSIKUSTANNUKSET

Lasketaan tien jakavasta kerroksesta ylöspäin. Betonipäällysteen osalta mahdolliset geotekniset lisärakennuskustannukset lisätään rakennuskustannuksiin.

Arvioidaan perustuen aikaisempiin kokemuksiin.

Arvioidaan voimassaolevan tuntikustannusten mk/ajon./h mukaan, tietyön aikaisen nopeusrajoituksen ja tietyön keston funktiona.

Saadaan kokonaiskustannukset, joista vähennetään päällysteen jäännösarvo 0-80 % alkup. investoinnista.

Lasketaan keskimääräiset vuosikustannukset tarkastelujaksolle.

Laskenta-aika esim. 45 v., korkokanta 6 %

*) diskontataan rakentamisvuoteen

Asfalttipäällysteen osalta kunnossapitostrategia laaditaan perustuen aikaisempiin kokemuksiin.

Betonipäällysteen osalta kunnossapitostrategiat perustuvat ulkomaisiin kokemuksiin; lähinnä Ruotsi, Norja, USA ja Saksa. Betonipäällysteiden vanhat saumarakenteet ovat olleet ongelmallisia. Uuden neopreenikumilistan käytöstä on Saksata kokemusta 15 v:n ajalta. Tänä aikana ei ole saumarakenteita tarvinnut korjata.

Esimerkkejä erilaisista kunnossapitotoimenpiteistä:

Betonipäällysteen kunnossapito

Toimenpide	Ajankohta
A) Saumatarkistus (puhdistus, saumatäytteiden tarkistus)	n. 5 v. välein
B) Saumakorjaus (reunamurtumat, uudet saumatäytteet)	n. 15 v. välein
C) Timanttihionta + saumakorjaus + kaistamerkintä	Tien KVL:n ja sallitun uramuodostuksen mukaan

Asfalttipäällysteen kunnossapito

Toimenpide	Ajankohta
A) Laatikkojyrsintä + ABE 20/100 + kaistamerkintä	Tien KVL:n ja sallitun uramuodostuksen mukaan
B) Tasausjyrsintä + kaistamerkintä	"
C) Liimaus + ABE 20/100 + kaistamerkintä	"
D) Urapaikkaus	"
E) Remixer-pinnoitteet	"

AB:n osalta toimenpiteet vaihtelevat tiepiireittäin ja tieosittain.

4.1.3 Kustannusten yhteenlaskenta

Rakennus- ja kunnossapitokustannukset lasketaan yhteen ja suoritetaan vertailu 45 vuoden käyttöiän mukaan. Yhteenlaskennassa lasketaan eri toimenpiteiden nykyarvot, päällysteiden jäännösarvot ja kokonaiskustannusten kautta vuosikustannukset. Laskentakorkokantana käytetään 6 %. Korkokantaa voidaan muuttaa mikäli tarvetta ilmenee.

4.1.3.1 Jäännösarvojen laskentaperusteet

Jäännösarvolla ei ole merkitystä, kun tarkastelu-aika on pitkä. Jäännösarvo muutetaan nykyarvoksi kertoimella, joka on 45 vuoden kuluttua 0,072, 30 vuoden kuluttua 0,174 ja 20 vuoden kuluttua 0,312, kun laskentakorkona käytetään 6 %.

Eri vaihtoehtojen jäännösarvojen erotuksella voi olla merkitystä, kun tarkastelu-aika on 20 tai 30 vuotta. Jäännösarvojen erotus tulisi arvioida vaihtoehtojen rakenteiden lopputilanteen kunnon ja käyttökelpoisuuden perusteella. Esimerkiksi betonipäällysteen jäännösarvo voidaan olettaa 300 000 mk/ajorata suuremmaksi kuin asfalttirakenteen, jos oletetaan, että kuormitus aiheuttaa asfalttirakenteeseen tarkastelu-aikana aaltoilua tai muuta väsymistä, joka joudutaan korjaamaan paksulla päällysteellä. Jäännösarvot tai niiden erotus tulisi lisäksi kertoa sen todennäköisyydellä, että tietä tai osaa tiestä ei jouduta myöhemmin siirtämään pysty- tai sivusuunnassa esimerkiksi eritasoliittymän rakentamisen vuoksi. Tien siirtäminen pienentäisi jäännösarvon betoni- tai asfalttimurskeen raaka-aineen arvoon. Jos ei ole teknisiä perusteita olettaa kumpaakaan rakennetta lopputilanteessa toista paremmaksi, molempien jäännösarvo oletetaan samaksi.

4.1.4 Vertailujen suoritus

Kustannusvertailujen tekemisessä on apuna tätä varten kehitetty taulukkolaskentaohjelma.

Ohjelmaan syötetään tiedot kuten tieosan pituus, leveys ja liikennemäärät. Rakennuskustannukset lasketaan syöttämällä neliöhinnat jakavasta kerroksesta ylöspäin. Kunnossapitotoimenpiteitä voidaan ohjelmaan syöttää 50 erilaista. Ohjelma laskee eri toimenpiteiden kokonaishinnat.

4.2 Kustannusvertailujen tuloksia

Ohessa on kustannusvertailujen tuloksia neljästä eri kotimaisesta kohteesta.

Kohde	Pituus	KVL	AB-vuosik.	BET-vuosikust.
Kehä II (*)	6000	41000-70000	4 500 000	3 300 000
Vt 9 Lakalaiva- Alasjärvi	9000	~32000	5 646 000	4 991 000
Vt 1 Turku- Kaarina (*)	5850/ 1200	34000/ 16000	1 490 155/ 371 855	1 247 144/ 350 996
Kehä III (*)	5400	30000-52000	1 012 000 - 1 262 000	1 179 000 - 1 422 000

(*) ei vielä toteutettuja kohteita

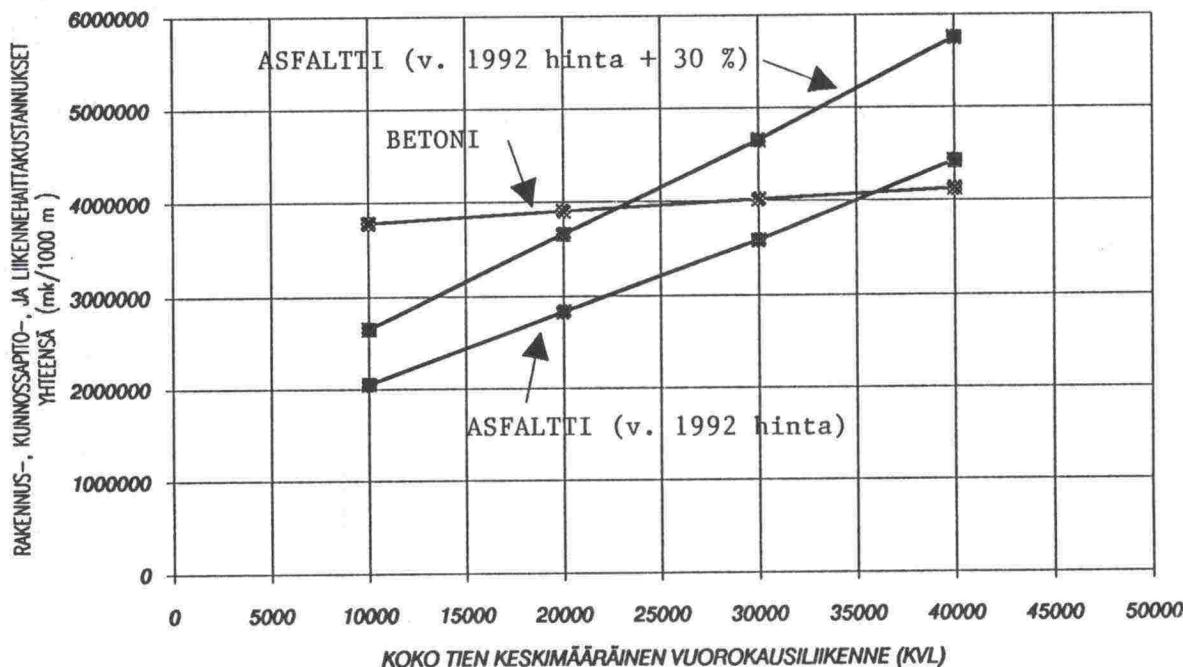
Laskenta-aika 30 vuotta, korko 5 % (Kehä II) muut 6 %.

Betonin kulutuskestoikä 3 x AB:n tai SMA:n vastaava. Kulumisurat korjataan KVL:n suhteessa AB-vaihtoehtojen samanaikaisesti molemmilta kaistoilta (Kehä II ja vt 1 tapauksissa ja erikseen vt 9 ja kehä III tapauksissa). Päällysteiden jäännösarvot arvioitu 50 % alkuperäisestä rakennuskustannuksesta molemmilla rakenteilla eli betonipäällysteen jäännösarvo 500 000 - 1 000 000 mk/ajoratakm suurempi kuin AB-päällysteen.

Suoritetuissa uudemmissa vertailulaskelmissa on todettu, että päällysteiden vuosikustannuksia vertailtaessa on betonipäällysteen kannattavuusraja vuoden 1992 hintatasolla KVL:n mukaan mitattuna noin 30 000 ajon/d. AB:n kunnossapitotoimenpiteet ovat kehittyneet ja niiden hintataso on huomattavan alhainen verrattuna aikaisempiin laskelmiin. Korotuspaine asfalttihinnoille on noin 30 %. Tämän takia on tärkeää, että laskelmat tehdään kustakin kohteesta erikseen huomioiden olemassa oleva hintataso sekä kohteen erityispiirteet. Kustannusvertailut on toteutettu jo toteutuneiden kohteiden yksikköhintojen (rakennus- ja kunnossapito) mukaan, korkokanta 6 %. Laskelmat ovat liitteessä 2, laskelmien tulokset on esitetty graafisesti kuvassa 4.

Korkokannan vaikutus vertailulaskelmiin on seuraavanlainen

Korkokanta	Kannattavuusraja KVL
4 %	~ 20 000
5 %	~ 26 000
6 %	~ 30 000
10 %	~ 43 000



Vertailu on tehty 2+2 kaistaiselle moottoritiepoikkileikkaukselle.
 Laskenta-aika on 45 vuotta. Laskentakorko on 6 %.
 Päällysteen jäännösarvot on oletettu yhtäsuuriksi (= 0).
 Kulumisurat korjataan kaistakohtaisen tarpeen mukaan.
 Betonin (K90) kulumiskestävyys on 3-4 kertaa SMA:n kestävyys.

Kuva 4. Betoni- ja asfalttipäällysteiden taloudellisuusvertailu, rakennus-, kunnossapito- ja liikennehaittakustannukset yhteensä mk/1000 m

5. BETONIPÄÄLYSTYSKOhteiden valintaan vaikuttavia tekijöitä

5.1 Päälysteen ominaisuudet

5.1.1 Melu

Ajomukavuuteen sekä teiden ympäristövaikutuksiin vaikuttaa ajoneuvon aiheuttama vierintämelu. Vierintämeluun vaikuttavat mm. pinnan karkeus, märkyys, tarkasteluetaisyys sekä ajoneuvon nopeus.

Taulukko 3: Liikennemelutasoja erilaisilla päälysteillä

Tien pinta-tyyppi	Keskimelu dB(A)	Erotukset vertailupäälysteeseen nähden dB(A)	
Syväkarkeutettu betoni	87,2	3,8	9,7
Pintakarkeutettu betoni	83,8	0,4	6,3
Tiiviiksi suhteitettu AB	83,4	0	5,9
Kylmäemulsiopinnoite	82,6	-0,8	5,1
Hienouritettu betoni	80,8	-2,6	3,3
Huokoinen AB, ikä 14 v.	79,3	-4,1	1,8
Huokoinen AB, ikä 2 v.	77,5	-5,9	0

Lähde: ASTO VÄLIRAPORTTI TR 9
Ajokustannusten ja melun riippuvuus päälystetyypistä ja päälysteen kunnosta, VTT 1991

Karkea ja/tai epätasainen päälyste saa pyörän värähtelemään ja melutaso nousee. Täysin tiivis ja tasainen pinta ei ole meluton sekään; renkaan ja tien välistä puristuva ilma aiheuttaa vinkuvan äänen. Optimitulos saavutetaan pienirakeisella avoimella pintatekstuureilla. Betonipäälysteet ovat perinteisesti olleet poikittain harjaamalla karkeutettuja pintoja; siis kaukana optimista. Viimeaikainen kehitystyö osoittaa, että betonipäälysteillä on syytä siirtyä pitkittäissuuntaiseen pinnan kuviointiin. Käyttämällä pientä maksimirakekokoa, käyttämällä pituussuuntaista tasoittajaa levityskoneessa ja vetämällä raskasta juuttikangasta levityskoneen perässä päästään jo alle normaaliasfaltin melutason. Pyörämelua voidaan edelleen vähentää "pesemällä" pinta valun jälkeen hidastimia ja harjausta käyttäen tai tekemällä hienorakeinen sirotepinta. Kaikkein paras tulos saavutetaan tekemällä koko laatta huokoisesta betonista. Tämäkin tekniikka on viime vuosina kehittynyt rutiiniaskeleille, muttei sovi nastarenkaita käyttäviin maihin.

Norjalainen tutkimuslaitos SINTEFF on vuodesta 1988 verrannut D_{\max} 16 mm asfalttia ja vastaavaa betonipäällystettä ja saanut niille täsmälleen saman melutason.

Melutasoon voidaan siis vaikuttaa suunnittelu- ja rakentamisvaiheessa ennen liikenteelle ottoa.

Taulukko 4: Vt 4/8 Kempele - Kiviniemi betonipäällysteellä ennen liikenteelle ottoa 20.8.1990 suoritettut melumittaustulokset, ohitusmelu dBA

20.8.1990	Betonipäällyste			
	70 km/h keskiarvo	vaihteluväli	100 km/h keskiarvo	vaihteluväli
dBA	79.0	77.2 - 81.3	85.2	83.8 - 86.7
20.8.1990	Asfalttipäällyste			
	70 km/h keskiarvo	vaihteluväli	100 km/h keskiarvo	vaihteluväli
dBA	79.2	78.5 - 79.9	84.0	83.0 - 84.5

5.1.2 Kitka

Eräissä englantilaisissa vertailuissa on huomattu, että betonipäällysteellä on paremmat kitkaominaisuudet kuin AB-päällysteellä. Jarrutuskitka-arvot ovat betoniteillä suuremmat. Kotimaisissa tutkimuksissa on toisaalta tultu siihen tulokseen, että AB-päällysteellä märkäkitka-arvot ovat jossain määrin paremmat. Kitkamittauksia on tehty kotimaassa mm. vt 3 Karhunkorven betoniteillä (ks. taulukko 5). Vaikka eri mittauksissa on saatu toisistaan poikkeavia tuloksia ei käytännön olosuhteissa suomalaisia betonipäällysteitä ole todettu liukkaammiksi kuin viereiset asfalttipäällysteet. Nastarenkaat aiheuttavat päällysteiden karhentumista mikä tasoittaa eri päällystetyyppien eroja.

*Taulukko 5: Vt 3, Karhunkorven betonitie
Kitkamittauksia*

	Vasen kaista		Oikea kaista		
	1992	1991	1992	1991	Pohjoinen
Sivukitka	0.339	0.531	0.365	0.574	Betoni 4500 m
Lukkokitka	0.232	0.315	0.280	0.249	
	0.183	0.296	0.246	0.280	
4000 m	0.172	0.290	0.211	0.279	
	0.167	0.271	0.218	0.272	
3000 m	0.202	0.293	0.226	0.298	
	0.206	0.344	0.208	0.303	
2000 m	0.218	0.272	0.218	0.234	
	0.216	0.279	0.227	0.266	
1000 m	0.213	0.324	0.206	0.335	
	0.257	0.322	0.215	0.314	
0 m					
Sivukitka	0.932	0.916	0.734	0.973	
Lukkokitka	0.528	0.323	0.456	0.412	Splittmastix 720 m
	0.512	0.421	0.457	0.421	
	0.534	0.368	0.448	0.422	
Sivukitka	0.779	0.885	0.617	0.773	
Lukkokitka	0.506	0.365	0.398	0.304	AB 650 m
	0.518	0.345	0.339	0.316	
	0.497	0.385	0.332	0.303	
					Etelä

5.1.3 Tasaisuus

Tasaisuus vaikuttaa sekä ajomukavuuteen että ajoturvallisuuteen. Epätasaisuus lisää liikenteen päällysteeseen kohdistamia pyöräkuormituksia. Betonipäällysteeseen kuuluvat kriittisenä osana saumarakenteet. Leveät liikuntasaumarakenteet aiheuttivat aikaisemmin ajoneuvoissa selvästi havaittavan tärähdyksen. Nykyiset saumarakenteet eli sahatut 10 mm kutistumissaumat n. 5 m välein eivät ole ajoneuvosta havaittavissa.

AB-päällysteen epätasaisuus on erilaista kuin betonipäällysteellä. Päällysteessä esiintyy yleensä lyhytalaisempia painumia, jotka vaikuttavat haitallisesti ajomukavuuteen ja turvallisuuteen ja lisäävät päällysrakenteeseen kohdistuvia kuormituksia. Onnistunut betonipäällyste antaa parhaan ajomukavuuden ja kestävimmän palvelutason.

Käytännössä tasaisuuden suhteen ei ole tarpeen tehdä eroa hyvän AB-päällysteen ja betonipäällysteen välillä. Vertailulaskelmissa esim. tasaisuuden vaikutuksista ajokustannuksiin ei päällysteiden välillä ole huomattu eroja. Uusimmat betonipäällysteet Oulussa ja Nurmijärvellä ovat tasaisuudeltaan hyviä. Taulukoissa 6 ja 7 on esitetty tasaisuusmittaustuloksia ko. tieosilta.

Taulukko 6: Vt 4/8 Kempele - Kiviniemi betonitien tasaisuusmittaustulosten keskiarvot ajokaistoittain

	Vasen kaista IRI4 mm/m		Oikea kaista IRI4 mm/m	
	keskiarvo	vaihteluväli	keskiarvo	vaihteluväli
12.9.1990	1.55	0.98 - 2.23	1.28	0.83 - 1.77
22.4.1991	1.14	0.79 - 1.76	1.11	0.74 - 1.68
07.5.1992	1.19	0.81 - 2.10	1.08	0.74 - 1.61
6.10.1992	1.22	0.79 - 2.05	1.15	0.80 - 1.74

Taulukko 7: Vt 3 Karhunkorven betonitie, tasaisuusmittaus 11.9.1992

IRI 4 mm/m

	Betoni	AB	SMA
Ohituskaista	1.08	0.44	0.82
Ajokaista	1.04	0.91	0.80

5.1.4 Vierintävastus

Renkaan vierintävastus päällysteellä vaikuttaa suoraan polttoainekustannuksiin ja ajoneuvokustannuksiin. Betonipäällysteen muodonmuutos renkaan vaikutuksesta on käytännössä olematon betonin suuren kimmomoduulin vuoksi. Pinnan karkeus sen sijaan vaikuttaa renkaan muodonmuutostyöhön ja sitä kautta vierintävastukseen.

Betonipäällysteen vierintävastuksen katsotaan olevan pienimmän kaikista päällystetyypeistä.

Betonia pienemmän kimmomoduulin ja suuremman taipuisuuden vuoksi on asfalttipäällysteiden muodonmuutos ja sitä kautta vierintävastus suurempi.

Pinnan laadulla eli tasaisuudella ja karkeudella on myös vaikutuksensa vierintävastukseen molemmilla päällystetyypeillä.

5.1.5 Valonheijastusominaisuudet

Betonipäällysteen väri on päällysteessä käytetyn kiviaineksen ja sementin perusteella vaalea. AB-päällyste on tumma, mutta liikenteen vaikutuksesta väri jonkin verran vaalenee.

Samalla tievalaistuksella saadaan betonipäällysteelle suurempi valontiheys eli parempi valaistus kuin AB-päällysteelle. Tämä merkitsee, että valaisintiheyttä voidaan harventaa betonipäällysteillä samaan tehoon pyrittäessä. Betonipäällysteillä voidaan kohtuullisin kustannuksin palauttaa valaistustaso lähes päivällä vallitsevalle tasolle. Betonipäällysteillä valaistuskustannukset ovat pienemmät.

Tutkimusten mukaan valaistuksella on voitu vähentää pimeän ajan onnettomuuksia jopa 30 %. Tievalaistuksen rakentaminen tulee kannattavaksi onnettomuuksien vähentymisenä laskelmien mukaan moottoriteillä kun KVL > 12000 ajon/d. Määrällä AB-päällysteellä tapahtuu lähinnä pinnan tiiviyn vuoksi kokonaisheijastumista, joka huonontaa ajo-olosuhteita ja häikäisee vastaantulijoita. Betonipäällysteillä vastaavissa olosuhteissa ei pinnan karkeuden perusteella kokonaisheijastumisia tapahdu. Parempien valonheijastusominaisuuksien vuoksi betonipäällysteen käyttö mm. tunneleissa ja katetuilla osuuksilla on erittäin edullista. Taulukossa 8 on vt 4/8 Kempele - Kiviniemi paluuheijastuvuusmittaustuloksia.

Taulukko 8: Paluuheijastuvuusmittaustulokset 20.8.1990, yksikkö mcd x m² x 1 x⁻¹

20.8.1990	Betonipäällyste		Asfalttipäällyste	
	keskiarvo	vaihteluväli	keskiarvo	vaihteluväli
	25.3	22 - 28	6.75	5 - 8

5.1.6 Kulutuskestävyys

Betonipäällysteiden on aina tiedetty olevan kulutuskestävyydeltään parempia kuin asfalttipäällysteet. Yhtäpitävästi on eri maissa päädytty n. 2,5 - 3,5 - kertaiseen kestävyysasteeseen, mikä on kokonaan eri suuruusluokkaa kuin asfalttien kestävyys. Viimeaikaiset norjalaiset ja suomalaiset tutkimukset ovat tuoneet markkinoille korkealujuusbetonit tiepäällysteissä, mitkä nostavat kulutuskestävyyden uuteen kertaluokkaan. Parhaisiin, samoista kiviaineksista tehtäviin asfalttipäällysteisiin verrattuna uudet korkealujuusbetonit osoittavat edelleen 2,5 - 3,5 - kertaista kulumiskestävyyttä, mutta nykyisiin tavanomaisiin asfalttipäällysteisiin verrattuna uusi korkealujuusbetoni (K90, kiviaineksena tonaliitti) tarjoaa Suomessa 3,5 - 7 -kertaisen kulumiskestävyyden.

Tämä merkitsee esimerkiksi sitä, että päällyste, jota on jouduttu korjaamaan 2 - 3 vuoden välein kestää betonipäällysteisenä 10 - 15 vuotta ilman urakorjaustarvetta. Tavanomaisilla liikennemäärillä (< 15000 KVL) ei urakorjaustarvetta tule päällysteen kestoajan aikana lainkaan. Silloin kun uria tulee, urat korjataan tasoitushionnalla, joka menetelmä on USA:ssa ja Euroopassa kehitetty rutiiniaskeleille.

Nastarengasliikenne on uhka myös betonipäällysteen kestoialle. Uusimman betoniteknologian soveltaminen betonipäällysteeseen on muuttanut tämän uhan haasteeksi. Betonipäällyste voidaan suunnitella ja se on suunniteltava niin kestäväksi kulumista vastaan, että nastarengaskuluminen ei lyhennä oleellisesti päällysteen tehollista kestoikää. Jatkuva hyvä palvelutaso voidaan säilyttää hoitamalla mahdolliset urat tasoitushionnalla jo ennen kuin niistä on merkittävää haittaa liikenteelle.

Kulumiseen varautuminen ja päällysteen kulumiskestävyyden nosto aiheuttaa lisäkustannuksia niin asfaltti- kuin betonipäällysteillekin. Betonipäällysteillä lisäkustannus muodostuu massan korkeammasta laadusta, hiontavaran huomioon ottamisesta laatan paksuudesta ja hiontakustannuksesta. Näitä lisäkustannuksia vastaan betonipäällyste tarjoaa pitkän kestoian ja hyvän, tasaisen palvelutason myös niissä poikkeuksellisissa liikenneolosuhteissa, jotka nastarengasliikenne aiheuttaa. Taulukossa 9 on profiilimittaustuloksia Oulun ja Karhunkorven betoniteiltä.

Taulukko 9: Profiilimittaus

Vt 3, Karhunkorven betonitie, profiilimittaustuloksia 1. ja 2. talven liikenteelle ottamisen jälkeen, ajokaista (oikea kaista)

		Max urasyvyys (mm) reunaura / keskiura		Poikkipinta-alan muutos (cm²)
<u>Betoni</u>				
syksy -91- kevät -92	ka	2,3	2,2	18,4
kevät -92 - syksy -92	ka	2,5	3,0	10
syksy -92 - kevät -93	ka	2,5	3,1	22,6
<u>SMA</u>				
syksy - 91 - kevät -92	ka	3,6	5,7	57,4
kevät -92 - syksy -92	ka	5,0	7,1	30
syksy -92 - kevät -93	ka	6,3	9,3	36,3

Vt 4/8 Kempele - Kiviniemi, profiilimittaus 15.8.1990 - 1.7.1992

	Uraasyvyys (mm) RU KU		Poikkipinta-alan muutos (cm ²)
Betoni - vasen kaista - oikea kaista	2.9	3.9	65.8
	3.3	4.3	64.2
Asfaltti - vasen kaista - oikea kaista	5.8	9.8	176.8
	10	9.3	235.6

5.1.7 Kunnossapito

Betonipäällysteen tuntomerkkeinä on totuttu pitämään hyvää kantavuutta ja tasaisuutta, pitkää kestoikää ja vähäistä kunnossapidon tarvetta. Ensimmäisten sukupolvien betonipäällysteet ovatkin monissa maissa saaneet vanhentua ilman, että niiden kunnossapitoon olisi kiinnitetty juuri mitään huomiota.

Suunnitellun käyttöiän tai kuormituskertaluvun täytyessä päällysteisiin on alkanut tulla eri syistä vaurioita; saumavikoja, halkeamia, murtumia, kulumauria, epätasaisuutta jne. Raskas liikenne yhdessä lämpötila- ja kosteusvaihteluiden kanssa väsyttää myös betonipäällysteen. Tämä tilanne on käynyt yhä ilmeisemmäksi 1970-luvun alkuvuosista lähtien, kun monissa maissa on alkanut olla enenevässä määrin vanhoja, huonokuntoisia betonipäällysteitä, joiden kohtalosta on päätettävä.

Vanhenevien betonipäällysteiden uudelleenrakentamista pidetään taloudellisesti ylivoimaisena, minkä vuoksi kaikkialla etsitään keinoja päällysteiden käyttöiän jatkamiseen. Kun betonipäällysteen kunnostamis- ja uusimistekniikat eivät ole hallinnassa, on ikää varsin usein jatkettu asfalttipaikkauksilla ja -pintauksilla. Betonipäällysteen kunnostamisen hankaluus on aiheuttanut myös pidättymistä uusien betonipäällysteiden rakentamisesta.

1980-luvulla on ollut käynnissä voimakasta tutkimus- ja kehitystoimintaa sekä käyttökelpoisempien korjaus- ja kunnostusmenetelmien kehittämiseksi että betonipäällysteiden pitkäaikaiskestävyyden parantamiseksi. Tutkimustyö ja menetelmien testaus jatkuu edelleen eri tahoilla, ja jo nyt on löydetty uusia parempia tekniikoita kunnossapitoon ja kunnostukseen. Suunnittelun, rakentamisen ja ennaltaehkäisevän kunnossapidon asiantunteva suorittaminen on kuitenkin avainasemassa päällysteen pitkäaikaiskestävyyden kannalta. Vanhoista betonipäällysteistä murskattuja kiviaineksia käytetään yhä enenemässä määrin USA:ssa ja Euroopassa uusien betonipäällysteiden runkoaineina (recycling).

Yksi syy betonipäällysteen vähäiseen käyttöön Suomessa on sen hankalaksi koettu korjaaminen. Liikennesäätös on pienempi kuin maissa, joissa betonipäällysteitä yleensä käytetään, mutta vastaavasti ilmastorasitus on monella tavalla suurempi. Suomessa nastarengaskulutus on merkittävä lisäuhka päällysteiden kestävyydelle.

Betonipäällysteen uusiminen ja korjaaminen on kallista. Korjaaminen on käsityövaltaista ja hankalaakin, ei vähiten liikenteelle aiheutuvan häiriön takia. Toimenpiteiden kannattavuus riippuu siitä, miten viisas ylläpitostrategia valitaan ja millä ammattitaidolla työt tehdään. Tämän vuoksi suunnittelussa ja rakentamisen työtekniikoissa tapahtunut kehitys on tärkeää. Uusilla betonipäällysteillä tulee olemaan oleellisesti vähäisempi korjaustarve ja pitempi ikä kuin edellisen sukupolven päällysteillä, joissa mm. pitkät laatat, rauditus ja betonin alhainen lujuus ovat osoittautuneet heikoiksi kohdiksi.

Taulukko 10: Betonipäällysteen käyttöominaisuudet verrattuna AB-päällysteen ominaisuuksiin

Ominaisuus	Betonipäällyste	Asfalttipäällyste
Melu	0	0
Kitka	0	++
Tasaisuus	++	++
Vierintävastus	++	0
Valonheijastus	+++	--
Kulutuskestävyys	+++	--
Kunnossapito	++	--
Liikenteen haitat		
- rakentaminen	--	++
- kunnossapito	++	--

Arvosteluasteikko:

+++ erittäin hyvä

++ hyvä

0 tyydyttävä

-- huono

--- erittäin huono

5.1.8 Liikennehaitat

Liikennehaitta rakentamisessa

Betonipäällysteen rakentaminen on huomattavasti hankalampaa kuin asfalttipäällysteen. Erilaisia koneita tarvitaan paljon ja liukuvalutekniikan vuoksi ei työvuorossa keskeytyksiä juurikaan sallita. Betoniaseman ja liukuvalukoneen yhteensovittaminen kuljetusten yms. suhteen on paljon vaativampaa kuin asfalttipäällystettä levitettäessä. Rakentamisvaiheessa on tieosa suljettava yleiseltä liikenteeltä tai liikenne on johdettava rakennuskohteen ohitse muita reittejä. Päällysteen kovettuminen ottaa myös oman aikansa.

Tämän vuoksi betonipäällyste sopii nimenomaan uusiin tiekohteisiin. Myös moottoriteiden peruskorjauskohteet soveltuvat betonipäällystekohteiksi, koska liikenteen ohjausjärjestelyt työmaan ohi on helppo toteuttaa. USA:ssa on edellämämainituista syistä johtuen muutaman vuoden ajan kehitetty nopeammin kovettuvia betonipäällysteitä, joilla päällyste voidaan ottaa liikenteelle jo seuraavana päivänä sen valamisesta.

Liikennehaitta kunnossapidossa

Kunnossapitotoimenpiteiden aiheuttamat järjestelyt molemmilla päällysteillä ovat suurin piirtein samanlaiset. Betonipäällysteellä joudutaan kuitenkin isompia korjaustoimenpiteitä tekemään 2 - 3 kertaa harvemmin kuin asfalttipäällysteellä. Tästä syystä betonipäällysteen aiheuttamat liikennehaitat kunnossapidossa ovat minimaalisen pienet verrattuna asfalttipäällysteen vastaaviin. Tämä tulee ottaa huomioon myös vertailukustannuksia laskettaessa.

5.2 Betonipäällysteen talous

5.2.1 Betonipäällysteen kustannusrakenne

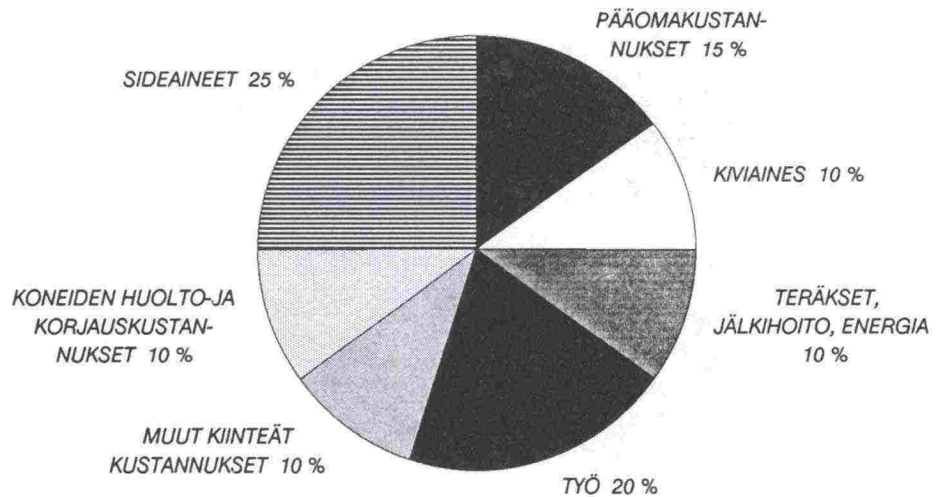
Suomessa on betonipäällysteitä tehty niin vähän, ettei käypää markkinahintaa ole vielä muodostunut. Erilaisissa kustannusvertailuissa on käytetty seuraavanlaisia hinta-arvoja:

Betonin lujuus	K50	K70	K90
Kuutiohinta	680 mk/m ³	750 mk/m ³	850 mk/m ³

Kustannusrakenteeltaan betonipäällyste on samantapainen kuin asfalttipäällyste. Sideaineen osuus on molemmissa noin kolmanneksen luokkaa.

Päällysteen neliömetrihinta määräytyy paksuuden mukaan ja siihen vaikuttavat lisäksi monet hankekohtaiset ja paikalliset tekijät.

BETONIPÄÄLLYSTEEN KUSTANNUSRAKENNE SUOMESSA



Kuva 5: Betonipäällysteen kustannusrakenne Suomessa

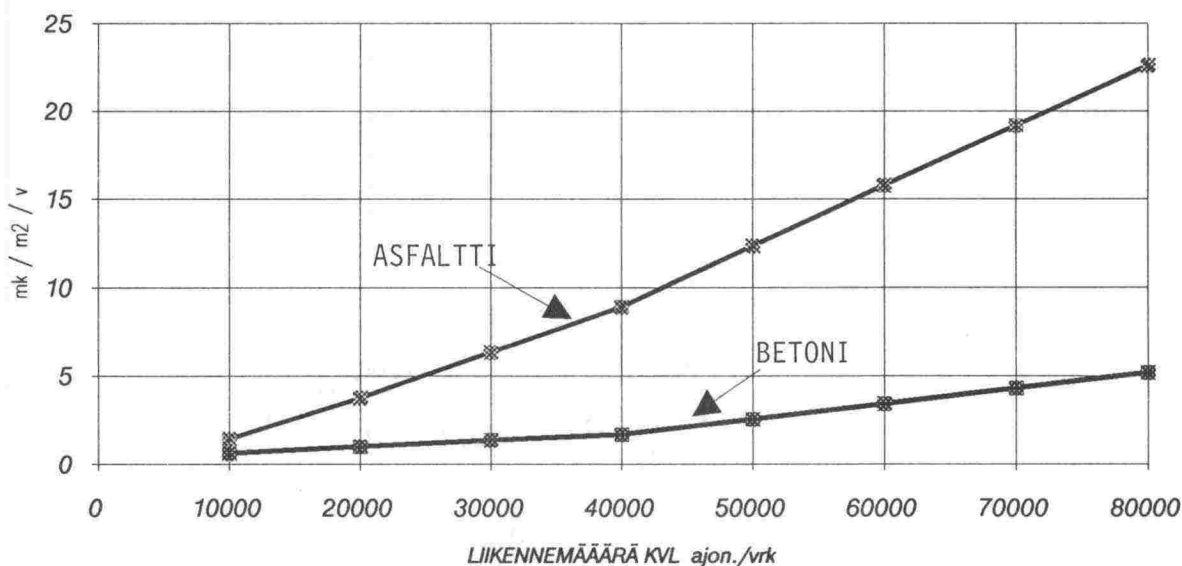
5.2.2 Rakennuskustannukset

Rakennuskustannuksiltaan betonipäällyste on neliöhinnaltaan n. 1.5 - 2.0 kertaa korkeampi kuin asfalttipäällyste. Vaiheittain rakentamisen takia kustannuserot päällysteiden välillä vielä korostuvat. Tämän takia on perusteltua verrata vain vastaavanlaisten valmiiksi rakennettujen rakenteiden neliöhintoja keskenään. Samoja massamääriä tai toisiaan vastaavia rakenteita (lopputilannetta) verrattaessa kustannuserot ovat pieniä.

5.2.3 Kunnossapitokustannukset

Betonipäällysteen kunnossapitokustannukset ovat sen paremman kulutuskestävyyden takia huomattavasti pienemmät kuin asfalttipäällysteellä. Betonipäällysteen kunnossapitokustannukset ovat keskimäärin 2.5-kertaa pienemmät kuin asfalttipäällysteellä. Suurilla liikennemäärillä (> 40 000 KVL) ero vain kasvaa.

KUNNOSSAPITOKUSTANNUKSET BET / AB-PÄÄLLYSTEET LIIKENNEMÄÄRÄN MUKAAN, mk/m²/v.
LASKENTAOLETTAMUKSET SAMAT KUIN LIITTEESSÄ 2



Kuva 6: Kunnossapitokustannukset bet/ab-päällysteet mk/m²/v liikennemäärän mukaan

5.2.4 Liikennehaittakustannukset

Betonipäällysteen alhaisen kunnossapitotarpeen vuoksi sen aiheuttamat kunnossapitotyön liikennehaittakustannukset (ajoneuvokustannukset) parantavat betonipäällysteen kilpailukykyä verrattuna asfalttipäällysteeseen. Betonipäällysteen kunnossapitotoimenpiteiden kesto aika verrattuna asfaltin vastaaviin on hyvin samanlainen (timanttihionta - uudelleen päällystys). Erona on se, että toimenpiteitä joudutaan tekemään betonipäällysteellä hyvin harvoin verrattuna asfalttipäällysteeseen. Esimerkiksi kun KVL on 20000 aj/d on laajuudeltaan vastaavanlaisia toimenpiteitä betonipäällysteellä 1/3 siitä mitä AB:lla 30 vuoden tarkastelujaksolla.

5.2.5 Betonipäälysteiden keskinäinen taloudellisuusvertailu

Betonipäälysteen lujuustasolla on selvä yhteys sen nastarengaskulutuskestävyyteen. Toteutuneiden betonipäälystekohteiden sekä suoritettujen kulutusrata-ajojen perusteella voidaan todeta, että päälysteen ominaiskulumat mm/1000 KVL/vuosi ovat seuraavanlaiset:

Betonin lujuusluokka	K50	K70	K90
Ominaiskuluma (mm/1000 KVL/vuosi)	0.13	0.095	0.06

Tavanomaisella AB-päälysteellä on vastaava ominaiskuluma 0.25-0.4 mm/1000 KVL/vuosi ja parhailla SMA-päälysteillä (ns. superrakenteet) 0.18 mm/1000 KVL/vuosi.

Korkeamman lujuustason tuoma etu kunnossapitotoimenpiteiden vähyydessä täytyy ottaa huomioon betonilaatujen kokonaisvertailussa.

Oheisessa taulukossa on teoreettisesti vertailtu eri betonilaatujen vaatimia timanttihiontakertoja KVL:n suhteessa. Kertojen määrässä on otettu huomioon moottoriteillä tapahtuva liikenteen jakautuminen kaistoittain sekä nastarenkaiden käytön osuus talviliikenteessä. Tarkastelussa on timanttihionta arvioitu suoritettavan kun ura on 14 mm syvä. Päälysteen käyttöiäksi on vertailussa arvioitu 45 vuotta.

Timanttihiontakertojen vertailu

Betonin lujuus	K50	K70	K90
KVL 10.000	3	2	1
KVL 20.000	5	4	2
KVL 30.000	7	6	3
KVL 40.000	11	7	4

- moottoritiepoikkileikkaus
- tarkastelujakso 45 v
 - ominaiskulumat: K50 = 0,13 mm/1000 KVL/v
 - K70 = 0,095 "
 - K90 = 0,06 "
- timanttihionta suoritetaan kun ura on 14 mm syvä

Timanttihionnan kustannusarviona voidaan pitää 20 mk/m², eli vastaavat hiontakustannukset diskontattuina vuosikustannuksiksi (tarkastelujakso 45 vuotta, korko 6 % ,diskonttaustekijä huomioitu) ovat seuraavat:

Betonin lujuus	K50	K70	K90
KVL 10.000	0,96 mk/m ² /v	0,54 mk/m ² /v	0,13 mk/m ² /v
KVL 20.000	1,74 "	1,39 "	0,54 "
KVL 30.000	2,34 "	2,08 "	0,96 "
KVL 40.000	3,82 "	2,34 "	1,39 "

Timanttihiontakustannukset ja rakennuskustannukset yhteenlaskettuina (rakennuskustannus laskettu halvimman alusrakenne + betonin paksuus - vaihtoehdon mukaan). Betonilaatan mitoituksessa on käytetty samoja oletusarvoja kuin kohdan 3.6.1 esimerkissä.

Betonin lujuus	K50	K70	K90
KVL 10.000	12,63 mk/m ² /v	12,16 mk/m ² /v	11,19 mk/m ² /v
KVL 20.000	15,45 "	14,41 "	12,84 "
KVL 30.000	17,99 "	16,96 "	14,46 "
KVL 40.000	21,55 "	18,77 "	16,07 "

Vastaavat rakenteet:

Betonin lujuus	K50	K70	K90
KVL 10.000	BET 232 mm MB 150 "	BET 209 mm MB 150 "	BET 170 mm MB 200 "
KVL 20.000	BET 278 mm MB 150 "	BET 244 mm MB 150 "	BET 192 mm MB 200 "
KVL 30.000	BET 322 mm MB 150 "	BET 277 mm MB 150 "	BET 215 mm MB 200 "
KVL 40.000	BET 365 mm MB 150 "	BET 309 mm MB 150 "	BET 236 mm MB 200 "

Laskelmat (ks. myös liitteet 3 ja 4) osoittavat, että betonipäällysteiden keskinäisen kilpailun voittaa korkealujuusbetoni K90 sen alhaisempien kunnossapito- ja rakennuskustannusten takia. Huolimatta K90 betonin korkeammasta kuutiohinnasta on se rakennuskustannuksiltaan halvempi verrattuna muihin betonilaatuihin koska laatan paksuus saadaan oleellisesti ohuemmaksi.

5.2.6 Betonipäällysteen K 90 ja SMA-päällysteen vertailu

Kunnossapito- ja rakennuskustannukset yhteensä jaettuina vuosikustannuksiksi

	<u>Betoni</u>	<u>SMA</u>
<u>KVL 10.000</u>	13,6 mk/m ² /v	7,31 mk/m ² /v
<u>KVL 20.000</u>	13,9 "	9,64 "
<u>KVL 40.000</u>	14,7 "	15,04 "

Kunnossapitokustannukset jaettuina vuosikustannuksiksi

	<u>Betoni</u>	<u>SMA</u>
<u>KVL 10.000</u>	0,6 mk/m ² /v	1,46 mk/m ² /v
<u>KVL 20.000</u>	1,03 "	3,79 "
<u>KVL 40.000</u>	1,71 "	9,19 "

Poikkileikkaus M 2x11,75/7,5 asfalttipientareella

Betonilaatu K90, betonin kestävyys nastarengaskulutusta vastaan on arvioitu olevan 3-4 x SMA:n kestävyys. Jäännösarvot on arvioitu samansuuruisiksi.

Kunnossapitotoimenpiteissä ei ole otettu huomioon piennarosuutta joka on molemmissa vaihtoehdoissa samanlainen.

5.3 Betonipäällystekohteen luonne

Mikä tahansa tienrakennuskohde voidaan suunnitella joko betoni- tai asfalttipäällysteiseksi ja tehdä valinta teknistaloudellisen vertailun perusteella ennen varsinaista päällystystyön aloitusta. Käytännössä betonipäällysteen käyttö rajautuu Suomen olosuhteissa vain raskaasti liikennöidyille moottori- ja moottoriliikenneteille. Kohteen tulisi olla riittävän suuri (>40 000 m²) jotta päällystyskaluston tuonti ulkomailta olisi kannattavaa.

5.3.1. Betonipäällystekaluston aiheuttamat rajoitukset

Betonipäällystekohteen valintaan vaikuttaa betonipäällystekaluston hankalampi "esiviritys" ennen päällystystyön aloitusta sekä päällysteen kovettumisen ja jälkihoidon vaatima työaika. Tämän takia betonipäällyste sopii parhaiten sellaisten uusien kohteiden päällysteeksi, joissa ei ole työnaikaista yleistä liikennettä. Näiden itse levitystyöhön liittyvien seikkojen lisäksi betonipäällystekohteen valintaan vaikuttaa meillä varsin useasti suurien liikennemäärien teillä esiintyvien erilaisten liittymien, ramppi- tai muitten lisäkaistojen aiheuttama rakentamisen hankaluus.

5.3.2 Betonipäällysteen rakenteen vaikutus valintaan

Betonipäällysteeseen liittyvien saumarakenteiden (kutistumissaumat, pituussaummat) suunnittelu ja rakentaminen on muuttuvapoikkileikkauksellisella tieosuudella erittäin hankalaa. Levityskalustosta johtuen joudutaan tieosa suunnittelemaan siten, että valitaan jokin betonipäällysteen vakioleveys (esim. 9.0 m) ja tähän lisätään tarvittavat lisäkaistat ja pientareet. Poikkileikkauksen muuttuminen esim. maaseutumootoritieltä kaupunkimaiseksi aiheuttaa sen, että pituussaumaa joudutaan siirtämään levitystyön kuluessa siten, että se seuraa ajokaistojen välistä ajokaistamerkintää.

Lisäkaistojen ja piennarakenteiden rakentaminen joudutaan toteuttamaan erikseen vasten jo rakennettua "pääkaistaa". Mitoituksellisesti saattaa tämä rajakohta tulla määrääväksi, mikä aiheuttaa taas turhaa lisäpaksuutta poikkileikkauksen osalle.

Lisäkaistojen ja liittymien rakentaminen ja samalla työn suunnittelu helpottuisivat huomattavasti, jos levityskalustoa kehitettäisiin siten, että voitaisiin käyttää työn aikana esim. hydraulisesti säätyvää levityslevyettä. Tämä johtaisi myös huomattavaan kustannussäästöön, koska useampia nyt erikseen tehtäviä työvaiheita jäisi pois.

5.3.3 Betonipäällysteisen tien poikkileikkaus

Kaikkien poikkileikkausten toteuttaminen onnistuu betonipäällysteisinä. Parhaiten betonipäällystekohteeksi sopii tieosa, jolla on harvassa liittymiä ja poikkileikkaus on vakio. Moottoriteillä pientareille tehdään yleensä asfalttipäällyste rakennuskustannusten pienentämiseksi. Moottoriliikennetiellä betonipäällyste pitäisi ulottaa pientareelle, jos moottoriliikennetie halutaan myöhemmin maalata ohituskaista- tai leveäkaistatieksi. Myös raskas liikenne käyttää paikoin moottoriliikennetien pientareita ohitusten helpottamiseksi.

5.3.4 Betonipäällyste ja vaiheittain rakentaminen

Betonipäällyste sopii myös vaiheittain rakentamisen yhteyteen silloin kun lisäkaistojen ja liittymien rakentamiseen on varauduttu jo suunnitteluvaiheessa. Tällöin on tien kallistukset ja pohjanvahvistustoimenpiteet suunniteltava ja toteutettava siten, ettei niihin enää tarvitse toteutusvaiheessa puuttua. Betonipäällysteen kallistusten radikaali muuttaminen onnistuu periaatteessa vain uudella massapintauksella.

6. YHTEENVETO

Seuraavaan tekstiin on kerätty tiivistettynä betonipäällysteen teknistaloudellisia valintakriteereitä ja Suomen olosuhteisiin suositettavat tekniset ratkaisut:

* Betonipäällystetyyppi

Raudoittamaton, saumateräksin varustettu betonipäällyste on Suomen olosuhteisiin sopivin betonipäällystetyyppi.

* Saumarakenteet

Ohut sauma ilman varsinaista avarrussahausta on saatujen kokemusten mukaan on meidän olosuhteisiin hyvä ratkaisu. Ohut sauma tulee kuitenkin massata, jotta säärasitus ei pääsisi vaurioittamaan saumaa. Neopreenikumilistan käytöstä on ulkomailta myös hyviä tuloksia, ks. kuva 1.

* Betonin lujuus

Suoritettujen taloudellisuusvertailujen valossa on kokonaisuuden kannalta edullisinta käyttää korkealujuusbetonia lujuusluokka K90.

* Betonipäällysteen poikkileikkaus

Kustannussyistä tulisi moottoritien piennarakenteet toteuttaa asfalttiraken-
teisina, mutta teknisesti on betoniapiennar suositeltavin. Leveillä ja muuttuvilla poikkileikkauksilla pituussaumojen paikkojen suunnittelu ja rakentaminen tuottaa vaikeuksia. Vakiopoikkileikkaus soveltuu betonipäällysteelle parhaiten.

* Betonipäällysteen rakentaminen

Betonipäällyste soveltuu parhaiten uusiin- ja perusparannuskohteisiin, joissa työn aikainen liikenteen ohjaus on helposti hoidettavissa.

* Pohjaolosuhteiden vaatimukset

Erillinen selvitys pohjaolosuhteista tulisi tehdä suunnitteluvaiheessa. Kal-
liimmasta investointikustannuksesta ja korjaustoimenpiteiden hankaluudesta johtuen riskitason tulee olla hallitumpi kuin AB-päällysteellä.

* Päällysteen ominaisuudet

Betonipäällysteen melu- ja kitkaominaisuuksiin tulee kiinnittää huomiota jo
päällysteen suunnitteluvaiheessa. Suomessa nastarengaskulutus parantaa
näitä em. ominaisuuksia päällysteen käyttöiän aikana. Kunnossapito-ominais-
suudet ovat betonipäällysteellä erinomaiset.

* Betonipäällysteen kannattavuus

Betonipäällysteen kannattavuusraja liikkuu 20000 - 35000 KVL:n rajoilla.
Erillinen kustannusvertailu tulisi tehdä päällysrakenteiden osalta AB-vaihtoehtojen välillä kun KVL ylittää 6000 ajon./d. Betoni tulee ottaa vertailuun mukaan kaikilla 2-ajorataisilla teillä.

7. JATKOTOIMENPITEET

Jatkotoimenpiteiden ohjelmointia ja betonipäällysteiden jatkuvaa tuotantoa silmälläpitäen esitetään seuraavassa Bettie-projektiryhmän jatkotoimenpidesuosituksat.

- * Tähän mennessä tehtyjen betonipäällystekokeilujen ja laboratoriotutkimusten tulokset tulee koota ja listata.
- * Betonipäällysteen kunnan säilyminen roudan ja pakkasen olosuhteissa eli Oulun betonitien jatkotutkimukset pitää varmistaa alkuperäisen tutkimusohjelman mukaisesti.
- * Betonipäällysteen käyttäytyminen painuvissa olosuhteissa pitää tutkia koerakentamisen avulla. Asiaa on useissa raporteissa tarkasteltu teoreettisesti mutta käytäntö puuttuu.
- * Betonipäällystettä ja muita sementillä sidottuja rakenteita koskevia perusteellisia koulutusohjelmia tulee toteuttaa korkeakoulujen ja teknillisten oppilaitosten kanssa yhteistyössä erilaisille avainryhmille ja opiskelijoille.
- * Betonipäällystettä tulee rakentaa vuosittain 50 -100 ajorata-km. Ainoastaan tällöin varmistetaan kotimaisen tietotaidon säilyminen ja oman levityskaluston hankkiminen maahamme. Päällystekohteina tulee olla vilkkaasti liikennöidyt moottoritie- ja päätieosuudet. Päällystekohteiksi tulee myös valita nykyisiä asfalttipäällysteisiä tieosuuksia kaupunkiseutujen raskaasti liikennöidyiltä pääteiltä ja -kaduilta.
- * Betonipäällysteteknologian uusimman tieto-aidon hankkiminen ja tästä tiedottaminen on turvattava Tielaitoksen piirissä.

KIRJALLISUUSLUETTELO

Maabetoni ja betonipäällysteet, J Rahiala 1988, TVH 723867

Betonipäällysteiden kulumisominaisuuksien selvittäminen, Anssi Lampinen 1988, VTT Tie- ja liikennelaboratorio, Tutkimusselostus 658

Betonipäällysteiden ohjeet, Betoniyhdistys 1988, BY 28

Strassenbau Heute, Betondecken, Bundersverband der Deutschen zement-industrie

Concrete Pavement Technology
- Simplified design guide
- Life cycle costing
ACPA 1989

Betonipäällysteiden kunnon seuranta ja kunnossapito-ohjeet, Tielaitos 1992, TIEL 2230004

Betonipäällysteen seuranta, Vt 4, Kempele - Kiviniemi, Seurantaraapotti no 1 Geokeskus, Oulun kehitysyksikkö, TIEL 3200143

Construction and Rehabilitation of Concrete Pavement / A Training Manual, FHWA - ACPA 1986

Betonipäällysteiden teknillisistä ja taloudellisista käyttöedellytyksistä Suomessa, Anssi Lampinen 1980, VTT Tie- ja liikennelaboratorio, Tutkimusselostus 194

Kehä II, Betonipäällysteselvitys, Uudenmaan tiepiiri 1991

Vt 1, betonipäällysteselvitys välillä Turku - Piikkiö, Turun tiepiiri 1991

Autobahnen in Deutschland, Kirschbaum Verlag, Bonn 1985

Betonipäällysteet, väliaikaiset ohjeet, Tiehallitus 1990

Sementtistabilointiohje, Tiehallitus 1992, TIEL 222614

VTI - Meddelande 653, Betonvägen i Arlanda, 1991

Bettie-ryhmän tutustumismatka Keski-Euroopan betoniteihin 13. - 19.5.1990, P Ala-Tuuhonen, Turun Viatek

Bettie-ryhmän opintomatka Yhdysvaltoihin 12. - 23.5.1991, P Ala-Tuuhonen, Turun Viatek

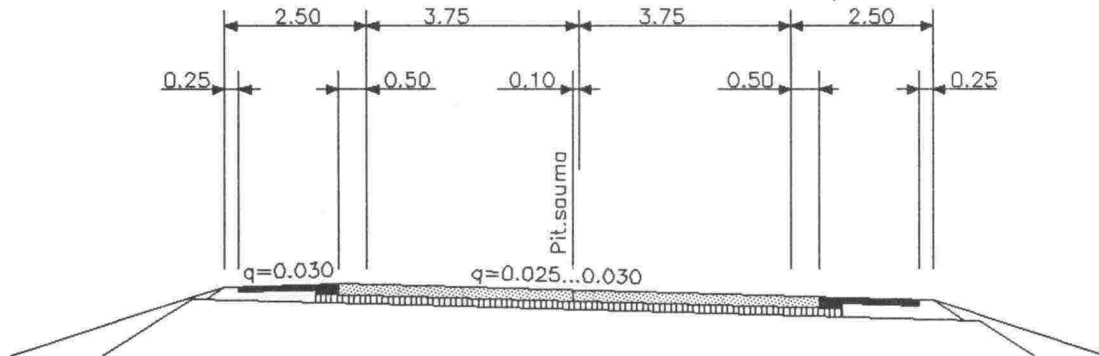
Bettie-ryhmän opintomatka Keski-Eurooppaan 1. - 6.9.1992, P Ala-Tuuhonen, Turun Viatek

Bettie-ryhmän opintomatka Ruotsin Falkenbergin betonitiekohdeeseen 17. - 20.5.1993, P Ala-Tuuhonen, Turun Viatek

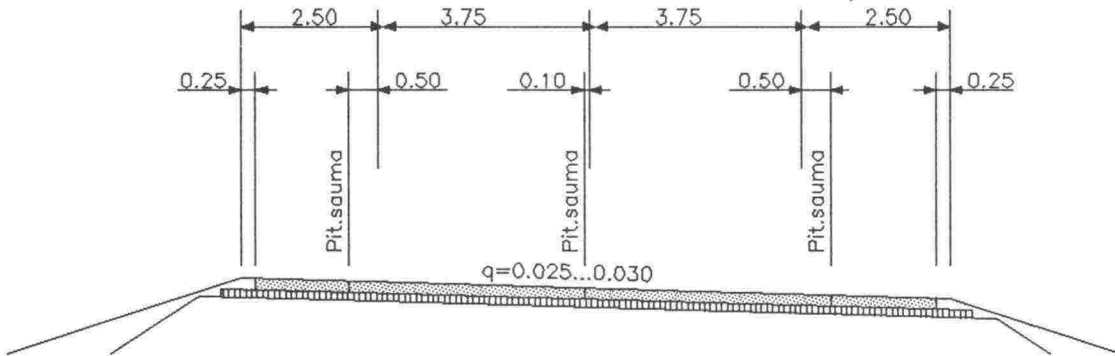
LIITTEET

- Liite 1 Betonipäällysteisen tien poikkileikkaukset
- Liite 2 Betoni- ja asfalttipäällysteen taloudellisuusvertailu
- Liite 3 Betonipäällysteiden taloudellisuusvertailu;
alusrakenne / betonilaatu / laatan paksuus
- Liite 4 Betonipäällysteiden taloudellisuusvertailu;
rakennuskustannukset eri betonilaaduilla ja alusrakenteilla

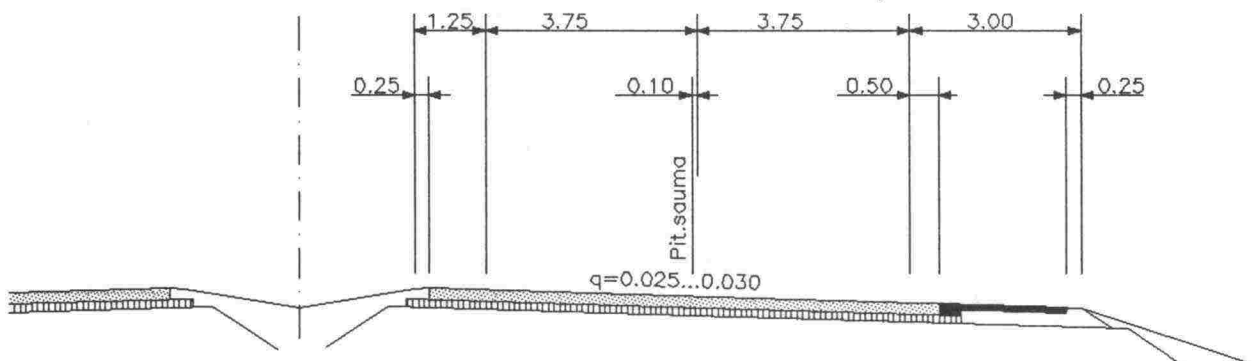
BETONIPÄÄLLYSTEISEN TIEN TYYPPIPOIKKILEIKKAUS MOL 12.5/7.5 ASFALTTIPIENTAREELLA



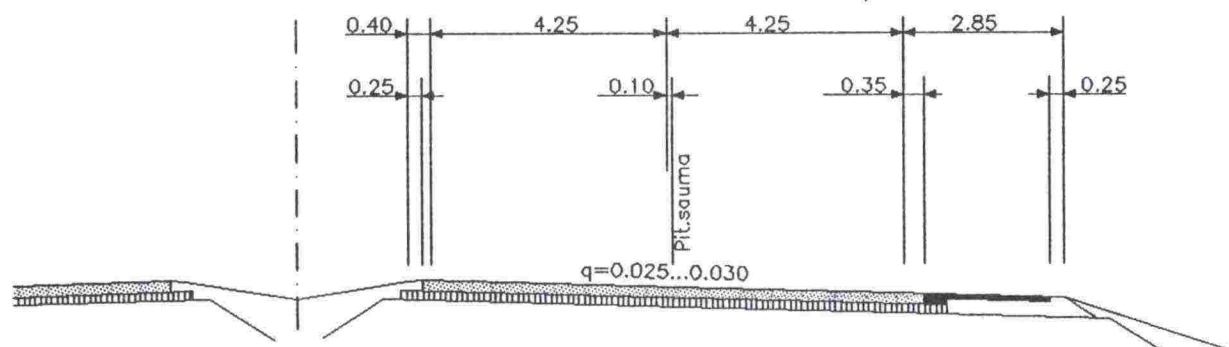
BETONIPÄÄLLYSTEISEN TIEN TYYPPIPOIKKILEIKKAUS MOL 12.5/7.5 BETONIPIENTAREELLA



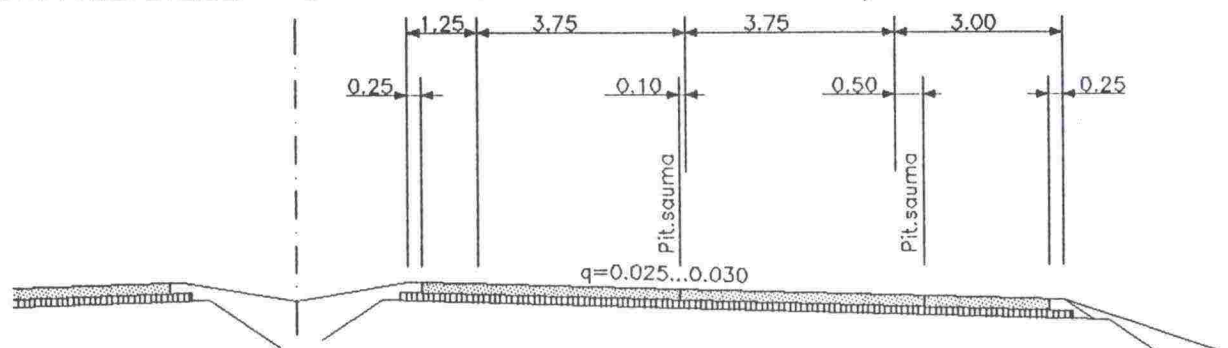
BETONIPÄÄLLYSTEISEN TIEN TYYPPIPOIKKILEIKKAUS M 2X11.75/7.5 ASFALTTIPIENTAREELLA



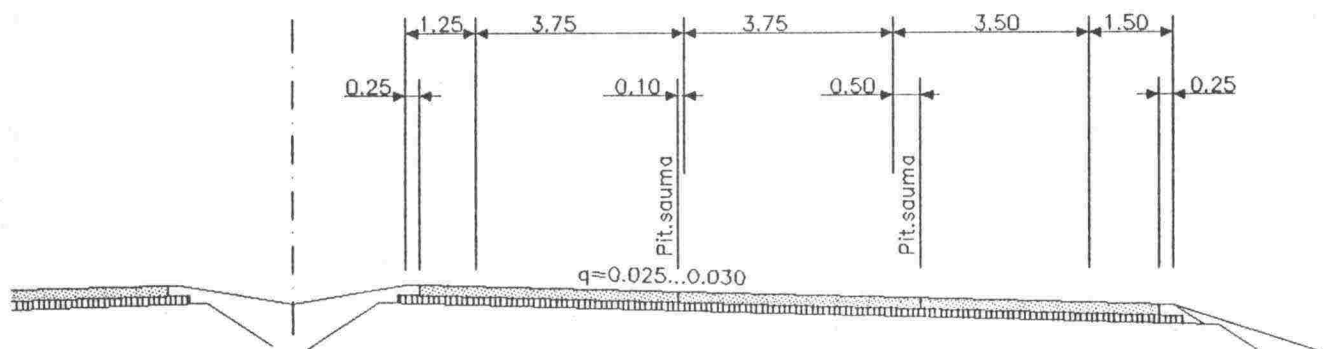
BETONIPÄÄLLYTEISEN TIEN TYYPPIPOIKKILEIKKAUS M 2X11.75/8.5 ASFALTTIPIENTAREELLA



BETONIPÄÄLLYTEISEN TIEN TYYPPIPOIKKILEIKKAUS M 2X11.75/7.5 BETONIPIENTAREELLA



BETONIPÄÄLLYTEISEN TIEN TYYPPIPOIKKILEIKKAUS M 2X13.75/11.0



BETONI - JA ASFALTIPÄÄLLYSTEEN TALOUDELLISUUSVERTAILU

Tarkasteltava tieosa on 1000 m pitkä moottoritie

Poikkileikkaus M 2 x 11,75/7,5 asfalttipientareella

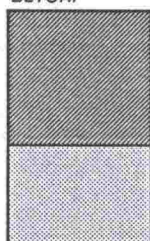
Taloudellisuusvertailut on tehty 10 000, 20 000 ja 40 000 KVL:n liikennemäärille. Betonin nastarengaskulutuskestävyys on arveltu olevan 3-4 x paremman kuin asfaltin.

VERTAILTAVAT RAKENTEET

BETONI K90 h=200 mm

MAABETONI h=150 mm

BETONI



ASFALTTI



SMA 100 kg/m² h= 40 mm

KBAB 120 kg/m² h= 50 mm

MAABETONI h= 200 mm

RAKENNUSKUSTANNUKSET

200 mk/m²

77 mk/m²

Tieosan pituus 1000 m

BETONI	päällysteen leveys	hinta	pientareen leveys	hinta	KOK.HINTA
	18	200	0*	0*	360000
*) betonipäällysteen neliöhinta sisältää pientareen kustannuksen					
ASFALTTI	päällysteen leveys	hinta	pientareen leveys	hinta	KOK.HINTA
	18	77	4,5	53	1626000

KUNNOSSAPITOKUSTANNUKSET / TOIMENPIDE

Vertailussa ei ole huomioitu pientareiden vaatimia toimenpiteitä

Käytetyt yksikköhinnat on laskettu koko maan keskiarvojen mukaan.

Hinnat sisältävät koko toimenpiteen kustannukset (mm. kiviaines ja rakennuttajan yleiskulut)

Rakenteen mahdollista peruskorjausta ei ole laskelmissa huomioitu

BETONI	hinta/yks	määrä/m	massamäärät	hinta	KOK.HINTA
timanttihioma +	20	18	18000	360000	434000
kaistamerk. +	3	6	6000	18000	molemmat kaistat
saumaus	10	5,6	5600	56000	
timanttihioma +	20	9,5	9500	190000	208000
kaistamerk.	3	6	6000	18000	vain toinen kaista
saumatarkistus +	6	5,6	5600	33600	51600
kaistamerk.	3	6	6000	18000	
ASFALTTI	hinta/yks	määrä/m	massamäärät	hinta	KOK.HINTA
laatikkojyrs +	6	7,6	7600	45600	261200
sma 18/100 +	26	7,6	7600	197600	vain toinen kaista
kaistamerk.	3	6	6000	18000	
rem +	18	7,6	7600	136800	154800
kaistamerk	3	6	6000	18000	vain toinen kaista
sma 18/100 +	27	16,2	16200	437400	455400
kaistamerk	3	6	6000	18000	molemmat kaistat
laatikkojyrs +	6	15,2	15200	91200	504400
sma 18/100 +	26	15,2	15200	395200	molemmat kaistat
kaistamerk.	3	6	6000	18000	
tasausjyrsintä +	6	16,5	16500	99000	117000
kaistamerk.	3	6	6000	18000	molemmat kaistat

KVL	OMINAISKULUMA	MAX.URASYVYYS	LIIKENT..JAK
10000	0,06	14	80 / 20

TOIMENPIDEVÄLI
30v. oikeakaista

VUOSI	TOIMENPIDE	KUSTANNUS	NYKYARVO
0	oikeakaista / vasenkaista rakentaminen	3 600 000	3 600 000
1		0	0
2		0	0
3		0	0
4		0	0
5	saumatarkistus + kaistamaalaus	51 600	38 559
6		0	0
7		0	0
8		0	0
9		0	0
10	saumatarkistus + kaistamaalaus	51 600	28 813
11		0	0
12		0	0
13		0	0
14		0	0
15	saumatarkistus + kaistamaalaus	51 600	21 531
16		0	0
17		0	0
18		0	0
19		0	0
20	saumatarkistus + kaistamaalaus	51 600	16 089
21		0	0
22		0	0
23		0	0
24		0	0
25	saumatarkistus + kaistamaalaus	51 600	12 023
26		0	0
27		0	0
28		0	0
29		0	0
30	timanttihionta + km / km	208 000	36 215
31		0	0
32		0	0
33		0	0
34		0	0
35	saumatarkistus + kaistamaalaus	51 600	6 713
36		0	0
37		0	0
38		0	0
39		0	0
40	saumatarkistus + kaistamaalaus	51 600	5 017
41		0	0
42		0	0
43		0	0
44		0	0
45	saumatarkistus + kaistamaalaus	51 600	3 749
	YHTEENSÄ		3 768 708

JÄÄNNÖSARVOT ARVIOITU SAMANSUURUISIKSI

RAK. - JA KUNNOSSAPITOKUST. YHTEENSÄ - JÄÄNNÖSARVO

3 768 708

VUOSIKUSTANNUS

243 837

ASFALTTIPÄÄLLYSTE

OMINAISKULUMA

TOIMENPIDEVÄLI

KVL

0,18

8v oikeakaista/16v. vasenkaista

10000

VUOSI

TOIMENPIDE

KUSTANNUS

NYKYARVO

0	oikeakaista / vasenkaista rakentaminen	1 626 000	1 626 000
1		0	0
2		0	0
3		0	0
4		0	0
5		0	0
6		0	0
7		0	0
8	rem + kaistamerk. /	154 800	97 123
9		0	0
10		0	0
11		0	0
12		0	0
13		0	0
14		0	0
15		0	0
16	sma 18/100 + kaistamerk.	455 400	179 267
17		0	0
18		0	0
19		0	0
20		0	0
21		0	0
22		0	0
23		0	0
24	rem + kaistamerk. /	154 800	38 232
25		0	0
26		0	0
27		0	0
28		0	0
29		0	0
30		0	0
31		0	0
32	ljyr + sma 18/100 + kaistamerk.	504 400	78 161
33		0	0
34		0	0
35		0	0
36		0	0
37		0	0
38		0	0
39		0	0
40	rem + kaistamerk. /	154 800	15 050
41		0	0
42		0	0
43		0	0
44		0	0
45		0	0

YHTEENSÄ

2 033 833

JÄÄNNÖSÄRVOT ARVIOITU SAMANSUURUISIKSI

0

RAK. - JA KUNNOSSAPITOKUST. YHTEENSÄ - JÄÄNNÖSARVO

2 033 833

VUOSIKUSTANNUS

131 590

KVL	OMINAISKULUMA	MAX.URASYVYYS	LIIKENT.JAK
20000	0,06	14	80 / 20

TOIMENPIDEVÄLI

15v. oikeakaista/30v. kokopoikk.

VUOSI	TOIMENPIDE	KUSTANNUS	NYKYARVO
	oikeakaista / vasenkaista		
0	rakentaminen	3 600 000	3 600 000
1		0	0
2		0	0
3		0	0
4		0	0
5	saumatarkistus + kaistamaalaus	51 600	38 559
6		0	0
7		0	0
8		0	0
9		0	0
10	saumatarkistus + kaistamaalaus	51 600	28 813
11		0	0
12		0	0
13		0	0
14		0	0
15	timanttihionta + km / km	208 000	86 791
16		0	0
17		0	0
18		0	0
19		0	0
20	saumatarkistus + km	51 600	16 089
21		0	0
22		0	0
23		0	0
24		0	0
25	saumatarkistus + km	51 600	12 023
26		0	0
27		0	0
28		0	0
29		0	0
30	timanttihionta + kaistam. + sauma	434 000	75 564
31		0	0
32		0	0
33		0	0
34		0	0
35	saumatarkistus + km	51 600	6 713
36		0	0
37		0	0
38		0	0
39		0	0
40	saumatarkistus + km	51 600	5 017
41		0	0
42		0	0
43		0	0
44		0	0
45	timanttihionta + km / km	208 000	15 111
	YHTEENSÄ		3 884 680

JÄÄNNÖSARVOT SAMANSUURUISET

RAK. - JA KUNNOSSAPITOKUST. YHTEENSÄ - JÄÄNNÖSARVO

3 884 680

VUOSIKUSTANNUS

251 341

ASFALTTIPÄÄLLYSTE

OMINAISKULUMA

TOIMENPIDEVÄLI

KVL

0,18

4v oikeakaista/8v. vasenkaista

20000

VUOSI

TOIMENPIDE

KUSTANNUS

NYKYARVO

	oikeakaista / vasenkaista		
0	rakentaminen	1 626 000	1 626 000
1		0	0
2		0	0
3		0	0
4	rem + kaistamerk. /	154 800	122 616
5		0	0
6		0	0
7		0	0
8	ljyr + sma 18/100 + kaistam.	504 400	316 467
9		0	0
10		0	0
11		0	0
12	rem + kaistamerk. /	154 800	76 931
13		0	0
14		0	0
15		0	0
16	sma 18/100 + kaistamerk.	455 400	179 267
17		0	0
18		0	0
19		0	0
20	rem + kaistamerk. /	154 800	48 267
21		0	0
22		0	0
23		0	0
24	ljyr + sma 18/100 + kaistam.	504 400	124 576
25		0	0
26		0	0
27		0	0
28	rem + kaistamerk. /	154 800	30 284
29		0	0
30		0	0
31		0	0
32	ljyr + sma 18/100 + kaistam.	504 400	78 161
33		0	0
34		0	0
35		0	0
36	rem + kaistamerk. /	154 800	19 000
37		0	0
38		0	0
39		0	0
40	ljyr + sma 18/100 + kaistam.	504 400	49 039
41		0	0
42		0	0
43		0	0
44	rem + kaistamerk. /	154 800	11 921
45		0	0
		YHTEENSÄ	2 682 528

JÄÄNNÖSARVOT SAMANSUURUISET

RAK. - JA KUNNOSSAPITOKUST. YHTEENSÄ - JÄÄNNÖSARVO

2 682 528

VUOSIKUSTANNUS

173 561

BETONIPÄÄLLYSTE

KORKOKANTA =

6

KVL	OMINAISKULUMA	MAX.URASYVYYS	LIIKENT..JAK
40000	0,06	14	60 / 40

TOIMENPIDEVÄLI
9v. oikeakaista/18v. kokopoikk.

VUOSI	TOIMENPIDE	KUSTANNUS	NYKYARVO
0	oikeakaista / vasenkaista rakentaminen	3 600 000	3 600 000
1		0	0
2		0	0
3		0	0
4		0	0
5	saumatarkistus + kaistamaalaus	51 600	38 559
6		0	0
7		0	0
8		0	0
9	timanttihionta + km / km	208 000	123 115
10		0	0
11		0	0
12		0	0
13		0	0
14	saumatarkistus + kaistamaalaus	51 600	22 823
15		0	0
16		0	0
17		0	0
18	timanttihionta + saumaus + kaistam.	434 000	152 049
19		0	0
20		0	0
21		0	0
22		0	0
23	saumatarkistus + kaistamaalaus	51 600	13 509
24		0	0
25		0	0
26		0	0
27	timanttihionta + km / km	208 000	43 133
28		0	0
29		0	0
30		0	0
31		0	0
32	saumatarkistus + kaistamaalaus	51 600	7 996
33		0	0
34		0	0
35		0	0
36	timanttihionta + saumaus + kaistam.	434 000	53 269
37		0	0
38		0	0
39		0	0
40		0	0
41	saumatarkistus + kaistamaalaus	51 600	4 733
42		0	0
43		0	0
44		0	0
45	timanttihionta + km / km	208 000	15 111
	YHTEENSÄ		4 074 296

JÄÄNNÖSARVOT SAMANSUURUISET

0

RAK. - JA KUNNOSSAPITOKUST. YHTEENSÄ - JÄÄNNÖSARVO

4 074 296

VUOSIKUSTANNUS

263 609

OMINAISKULUMA

TOIMENPIDEVÄLI

KVL

0,18

2v oikeakaista/3v. vasenkaista

40000

VUOSI

TOIMENPIDE

KUSTANNUS

NYKYARVO

	oikeakaista / vasenkaista		
0	rakentaminen	1 626 000	1 626 000
1		0	0
2	rem + kaistamerk. /	154 800	137 771
3	/ rem + kaistamerk.	154 800	129 973
4	ljyr. + sma 18/100 + km. /	261 200	206 895
5		0	0
6	sma 18/100 + kaistamerk.	455 400	321 039
7		0	0
8	rem + kaistamerk. /	154 800	97 123
9	/ rem + kaistamerk.	154 800	91 626
10	ljyr. + sma 18/100 + km. /	261 200	145 853
11		0	0
12	ljyr. + sma 18/100 + kaistamerk.	504 400	250 671
13		0	0
14	rem + kaistamerk. /	154 800	68 468
15	/ rem + kaistamerk.	154 800	64 593
16	ljyr. + sma 18/100 + km. /	261 200	102 820
17		0	0
18	ljyr. + sma 18/100 + kaistamerk.	504 400	176 713
19		0	0
20	rem + kaistamerk. /	154 800	48 267
21	/ rem + kaistamerk.	154 800	45 535
22	ljyr. + sma 18/100 + km. /	261 200	72 484
23		0	0
24	ljyr. + sma 18/100 + kaistamerk.	504 400	124 576
25		0	0
26	rem + kaistamerk. /	154 800	34 027
27	/ rem + kaistamerk.	154 800	32 101
28	ljyr. + sma 18/100 + km. /	261 200	51 099
29		0	0
30	ljyr. + sma 18/100 + kaistamerk.	504 400	87 821
31		0	0
32	rem + kaistamerk. /	154 800	23 987
33	/ rem + kaistamerk.	154 800	22 630
34	ljyr. + sma 18/100 + km. /	261 200	36 022
35		0	0
36	ljyr. + sma 18/100 + kaistamerk.	504 400	61 910
37		0	0
38	rem + kaistamerk. /	154 800	16 910
39	/ rem + kaistamerk.	154 800	15 953
40	ljyr. + sma 18/100 + km. /	261 200	25 394
41		0	0
42	ljyr. + sma 18/100 + kaistamerk.	504 400	43 644
43		0	0
44	rem + kaistamerk. /	154 800	11 921
45	/ rem + kaistamerk.	154 800	11 246
		YHTEENSÄ	4 185 075

JÄÄNNÖSARVOT SAMANSUURUISET

RAK. - JA KUNNOSSAPITOKUST. YHTEENSÄ - JÄÄNNÖSARVO

4 185 075

VUOSIKUSTANNUS

270 776

LIIKENNEHAITAKUSTANNUSTEN LASKENTA

Kustannusten laskennassa on nopeusrajoitusten arvioitu alenevan 120 km/h- 30 km/h portaittain eli 250 m matkalla 80 km/h ja 250 m matkalla 60 km/h ja tämän jälkeen varsinainen toimenpide suoritetaan 1:llä kaistalla 100 m matkalla.

Ilman toimenpidettä henkilöautolta kuluisi aikaa 18 sekuntia ko. matkaan ja kuorma-autolta 22 sekuntia. Toimenpiteen vuoksi ajoaika pitenee henkilöautolla 20 sekuntia ja kuorma-autolla 17 sekuntia. Eli lisäkustannukset lisääntyneestä ajoajasta ovat ha:lla 0,56 mk lähtötuntihinta: 100 mk/h ja ka:lla 1,18 mk,lähtötuntihinta 250 mk/h. Autoista ajaa 80% 06.00-18.00 välisenä aikana eli silloin kun toimenpidettä tehdään.

Eli kokonaiskustannukset kun raskaan liikenteen osuus on n. 15 %:

KLV 10 000	2250 mk/päivä
KVL 20 000	4500 mk/päivä
KVL 40 000	9000 mk /päivä

			kvl	kvl	kvl
toimenpiteen arvioitu kesto / 1000 m			10000	20000	40000
BETONI					
timanttihionta +	4 pv	kustannus	9000	18000	36000
kaistamerk. +					
saumaus	<u>molemmat kaistat</u>				
timanttihionta +	2 pv	kustannus	4500	9000	18000
kaistamerk.	<u>vain toinen kaista</u>				
saumatarkistus +	1 pv	kustannus	2250	4500	9000
kaistamerk.					
ASFALTTI					
laatikkojyrs +	2 pv	kustannus	4500	9000	18000
sma 18/100 +					
kaistamerk.	<u>vain toinen kaista</u>				
rem +	2 pv	kustannus	4500	9000	18000
kaistamerk	<u>vain toinen kaista</u>				
sma 18/100 +	4 pv	kustannus	9000	18000	36000
kaistamerk	<u>molemmat kaistat</u>				
laatikkojyrs +	5 pv	kustannus	11250	22500	45000
sma 18/100 +					
kaistamerk.	<u>molemmat kaistat</u>				
tasausjyrsintä +	3 pv	kustannus	6750	13500	27000
kaistamerk.	<u>molemmat kaistat</u>				

LIIKENNEHAITAKUSTANNUSTEN LASKENTA

BETONIPÄÄLLYSTE

KORKOKANTA=

6

KVL	OMINAISKULUMA	MAX.URASYVYYS	LIIKENT.JAK
10000	0,06	14	80 / 20

TOIMENPIDEVÄLI
30v. oikeakaista

VUOSI	TOIMENPIDE	KUSTANNUS	NYKYARVO
	<i>oikeakaista / vasenkaista</i>		
0	<i>rakentaminen</i>	0	0
1		0	0
2		0	0
3		0	0
4		0	0
5	<i>saumatarkistus + kaistamaalaus</i>	2 250	1 681
6		0	0
7		0	0
8		0	0
9		0	0
10	<i>saumatarkistus + kaistamaalaus</i>	2 250	1 256
11		0	0
12		0	0
13		0	0
14		0	0
15	<i>saumatarkistus + kaistamaalaus</i>	2 250	939
16		0	0
17		0	0
18		0	0
19		0	0
20	<i>saumatarkistus + kaistamaalaus</i>	2 250	702
21		0	0
22		0	0
23		0	0
24		0	0
25	<i>saumatarkistus + kaistamaalaus</i>	2 250	524
26		0	0
27		0	0
28		0	0
29		0	0
30	<i>timanttihionta + km / km</i>	4 500	783
31		0	0
32		0	0
33		0	0
34		0	0
35	<i>saumatarkistus + kaistamaalaus</i>	2 250	293
36		0	0
37		0	0
38		0	0
39		0	0
40	<i>saumatarkistus + kaistamaalaus</i>	2 250	219
41		0	0
42		0	0
43		0	0
44		0	0
45	<i>saumatarkistus + kaistamaalaus</i>	2 250	163
	YHTEENSÄ		6 561

LIIKENNEHAITAKUSTANNUKSET YHTEENSÄ

6 561

VUOSIKUSTANNUS

424

ASFALTTIPÄÄLLYSTE

OMINAISKULUMA

TOIMENPIDEVÄLI

KVL

0,18

8v oikeakaista/16v. vasenkaista

10000

VUOSI	TOIMENPIDE	KUSTANNUS	NYKYARVO
	oikeakaista / vasenkaista		
0	rakentaminen	0	0
1		0	0
2		0	0
3		0	0
4		0	0
5		0	0
6		0	0
7		0	0
8	rem + kaistamerk. /	4 500	2 823
9		0	0
10		0	0
11		0	0
12		0	0
13		0	0
14		0	0
15		0	0
16	sma 18/100 + kaistamerk.	9 000	3 543
17		0	0
18		0	0
19		0	0
20		0	0
21		0	0
22		0	0
23		0	0
24	rem + kaistamerk. /	4 500	1 111
25		0	0
26		0	0
27		0	0
28		0	0
29		0	0
30		0	0
31		0	0
32	ljyr + sma 18/100 + kaistamerk.	11 250	1 743
33		0	0
34		0	0
35		0	0
36		0	0
37		0	0
38		0	0
39		0	0
40	rem + kaistamerk. /	4 500	437
41		0	0
42		0	0
43		0	0
44		0	0
45		0	0
		YHTEENSÄ	9 658

0

LIIKENNEHAITTAKUSTANNUKSET YHTEENSÄ

9 658

VUOSIKUSTANNUS

625

LIIKENNEHAITAKUSTANNUSTEN LASKENTA

BETONIPÄÄLLYSTE

KORKOKANTA =

6

KVL	OMINAISKULUMA	MAX.URASYVYYS	LIIKENT.JAK
20000	0,06	14	80 / 20

TOIMENPIDEVÄLI
15v. oikeakaista/30v. kokopoikk.

VUOSI	TOIMENPIDE	KUSTANNUS	NYKYARVO
	oikeakaista / vasenkaista		
0	rakentaminen	0	0
1		0	0
2		0	0
3		0	0
4		0	0
5	saumatarkistus + kaistamaalaus	4 500	3 363
6		0	0
7		0	0
8		0	0
9		0	0
10	saumatarkistus + kaistamaalaus	4 500	2 513
11		0	0
12		0	0
13		0	0
14		0	0
15	timanttihionta + km / km	9 000	3 755
16		0	0
17		0	0
18		0	0
19		0	0
20	saumatarkistus + km	4 500	1 403
21		0	0
22		0	0
23		0	0
24		0	0
25	saumatarkistus + km	4 500	1 048
26		0	0
27		0	0
28		0	0
29		0	0
30	timanttihionta + kaistam. + saumaus	18 000	3 134
31		0	0
32		0	0
33		0	0
34		0	0
35	saumatarkistus + km	4 500	585
36		0	0
37		0	0
38		0	0
39		0	0
40	saumatarkistus + km	4 500	437
41		0	0
42		0	0
43		0	0
44		0	0
45	timanttihionta + km / km	9 000	654
	YHTEENSÄ		16 893

LIIKENNEHAITAKUSTANNUKSET YHTEENSÄ

16 893

VUOSIKUSTANNUS

1 093

ASFALTTIPÄÄLLYSTE

OMINAISKULUMA

TOIMENPIDEVÄLI

KVL

0,18

4v oikeakaista/8v. vasenkaista

20000

VUOSI

TOIMENPIDE

KUSTANNUS

NYKYARVO

0

oikeakaista / vasenkaista
rakentaminen

0

0

1

0

0

2

0

0

3

0

0

4

rem + kaistamerk. /

9 000

7 129

5

0

0

6

0

0

7

0

0

8

ljyr + sma 18/100 + kaistam.

22 500

14 117

9

0

0

10

0

0

11

0

0

12

rem + kaistamerk. /

9 000

4 473

13

0

0

14

0

0

15

0

0

16

sma 18/100 + kaistamerk.

18 000

7 086

17

0

0

18

0

0

19

0

0

20

rem + kaistamerk. /

9 000

2 806

21

0

0

22

0

0

23

0

0

24

ljyr + sma 18/100 + kaistam.

22 500

5 557

25

0

0

26

0

0

27

0

0

28

rem + kaistamerk. /

9 000

1 761

29

0

0

30

0

0

31

0

0

32

ljyr + sma 18/100 + kaistam.

22 500

3 487

33

0

0

34

0

0

35

0

0

36

rem + kaistamerk. /

9 000

1 105

37

0

0

38

0

0

39

0

0

40

ljyr + sma 18/100 + kaistam.

22 500

2 187

41

0

0

42

0

0

43

0

0

44

rem + kaistamerk. /

9 000

693

45

0

0

YHTEENSÄ

50 400

LIIKENNEHAITAKUSTANNUKSET YHTEENSÄ

50 400

VUOSIKUSTANNUS

3 261

LIIKENNEHATTAKUSTANNUSTEN LASKENTA

BETONIPÄÄLLYSTE

KORKOKANTA =

6

KVL	OMINAISKULUMA	MAX.URASYVYYS	LIIKENT.JAK
40000	0,06	14	60 / 40

TOIMENPIDEVÄLI
9v. oikeakaista/18v. kokopoikk.

VUOSI	TOIMENPIDE	KUSTANNUS	NYKYARVO
	oikeakaista / vasenkaista		
0	rakentaminen	0	0
1		0	0
2		0	0
3		0	0
4		0	0
5	saumatarkistus + kaistamaalaus	9 000	6 725
6		0	0
7		0	0
8		0	0
9	timanttihionta + km / km	18 000	10 654
10		0	0
11		0	0
12		0	0
13		0	0
14	saumatarkistus + kaistamaalaus	9 000	3 981
15		0	0
16		0	0
17		0	0
18	timanttihionta + saumaus + kaistam.	36 000	12 612
19		0	0
20		0	0
21		0	0
22		0	0
23	saumatarkistus + kaistamaalaus	9 000	2 356
24		0	0
25		0	0
26		0	0
27	timanttihionta + km / km	18 000	3 733
28		0	0
29		0	0
30		0	0
31		0	0
32	saumatarkistus + kaistamaalaus	9 000	1 395
33		0	0
34		0	0
35		0	0
36	timanttihionta + saumaus + kaistam.	36 000	4 419
37		0	0
38		0	0
39		0	0
40		0	0
41	saumatarkistus + kaistamaalaus	9 000	825
42		0	0
43		0	0
44		0	0
45	timanttihionta + km / km	18 000	1 308
	YHTEENSÄ		48 008

0

LIIKENNEHATTAKUSTANNUKSET YHTEENSÄ

48 008

VUOSIKUSTANNUS

3 106

OMINAISKULUMA

TOIMENPIDEVÄLI

KVL

0,18

2v oikeakaista/3v. vasenkaista

40000

VUOSI	TOIMENPIDE	KUSTANNUS	NYKYARVO
	oikeakaista / vasenkaista		
0	rakentaminen	0	0
1		0	0
2	rem + kaistamerk. /	18 000	16 020
3	/ rem + kaistamerk.	18 000	15 113
4	ljyr. + sma 18/100 + km. /	18 000	14 258
5		0	0
6	sma 18/100 + kaistamerk.	36 000	25 379
7		0	0
8	rem + kaistamerk. /	18 000	11 293
9	/ rem + kaistamerk.	18 000	10 654
10	ljyr. + sma 18/100 + km. /	18 000	10 051
11		0	0
12	ljyr. + sma 18/100 + kaistamerk.	45 000	22 364
13		0	0
14	rem + kaistamerk. /	18 000	7 961
15	/ rem + kaistamerk.	18 000	7 511
16	ljyr. + sma 18/100 + km. /	18 000	7 086
17		0	0
18	ljyr. + sma 18/100 + kaistamerk.	45 000	15 765
19		0	0
20	rem + kaistamerk. /	18 000	5 612
21	/ rem + kaistamerk.	18 000	5 295
22	ljyr. + sma 18/100 + km. /	18 000	4 995
23		0	0
24	ljyr. + sma 18/100 + kaistamerk.	45 000	11 114
25		0	0
26	rem + kaistamerk. /	18 000	3 957
27	/ rem + kaistamerk.	18 000	3 733
28	ljyr. + sma 18/100 + km. /	18 000	3 521
29		0	0
30	ljyr. + sma 18/100 + kaistamerk.	45 000	7 835
31		0	0
32	rem + kaistamerk. /	18 000	2 789
33	/ rem + kaistamerk.	18 000	2 631
34	ljyr. + sma 18/100 + km. /	18 000	2 482
35		0	0
36	ljyr. + sma 18/100 + kaistamerk.	45 000	5 523
37		0	0
38	rem + kaistamerk. /	18 000	1 966
39	/ rem + kaistamerk.	18 000	1 855
40	ljyr. + sma 18/100 + km. /	18 000	1 750
41		0	0
42	ljyr. + sma 18/100 + kaistamerk.	45 000	3 894
43		0	0
44	rem + kaistamerk. /	18 000	1 386
45	/ rem + kaistamerk.	18 000	1 308
	YHTEENSÄ		235 102

JÄÄNNÖSARVOT SAMANSUURUISET

RAK. - JA KUNNOSSAPITOKUST. YHTEENSÄ - JÄÄNNÖSARVO

235 102

VUOSIKUSTANNUS

15 211

BETONIPÄÄLLYSTEIDEN TALOUDELLISUUSVERTAILU ; ALUSRAKENNE / BETONILAATU / LAATAN PAKSUUS

TARKASTELUSSA ON ERI LIIKENNEMÄÄRILLE JA ERI TYYPPISILLE ALUSRAKENTEILLE LASKETTU BETONILAATAN PAKSUUDET

MITOITUKSESSA KÄYTETYT LÄHTÖARVOT:

- KAKSIAJORATAINEN MOOTTORITIE , SIDOTUN KERROKSEN ALUSTAN KANTAVUUS 125 MN/m², BETONIPÄÄLLYSTEEN LEVEYS 9,0 m
- PÄÄLLYSTEEN KÄYTTÖIKÄ 45 VUOTTA
- LIIKENNEMÄÄRÄ AVAUSHETKELLÄ KVL- 5000 AJON./d , KÄYTTÖIÄN LOPUSSA KVL + 5000 AJON./d
- RASKAAN LIIKENTEEN OSUUS KVL:STÄ 15 %
- AKSELIKUORMA 10 t
- RASKAANLIIKENTEEN JAKAUMA NORMAALIJAKAUMAN MUKAINEN
- MITOITUSRENKAANA NS. SUPER-SINGLE RENGAS , ILMANPAINI 10 bar
- BITUMISORAN KIMMOMODULI E = 2500 N/mm² , MAABETONIN E = 4000 N/mm²
- PÄÄLLYSTEIDEN OMINAISKULUMAT: K 50 = 0,13 mm/1000 KVL/V, K 70 = 0,095 mm/1000 KVL/V, K 90 = 0,06 mm/1000 KVL/V

TAULUKOSSA ESITETYT LUVUT TARKOITTAVAT LAATAN PAKSUUTTA MILLIMETREISSÄ

KVL 10000	K50	K70	K90	KVL 40000	K50	K70	K90
MB 100	238	215	181	MB 100	371	315	247
MB 150	232	209	175	MB 150	365	309	241
MB 200	227	204	170	MB 200	360	304	236
MB 300	220	197	163	MB 300	352	296	229
BS 50	246	223	189	BS 50	379	323	255
BS 100	240	217	183	BS 100	373	317	249
KVL 20000	K50	K70	K90				
MB 100	284	250	203				
MB 150	278	244	197				
MB 200	273	239	192				
MB 300	265	232	185				
BS 50	292	258	211				
BS 100	286	252	205				
KVL 30000	K50	K70	K90				
MB 100	328	282	226				
MB 150	322	277	220				
MB 200	317	272	215				
MB 300	309	264	208				
BS 50	336	288	234				
BS 100	330	285	228				

**BETONIPÄÄLLYSTEIDEN TALOUDELLISUUSVERTAILU;
RAKENNUSKUSTANNUKSET ERI BETONILAADUILLA JA ALUSRAKENTEILLA**

BETONILAATAN PAKSUUDET LIITTEEN 3 MUKAISET

KÄYTETYT YKSIKKÖHINNAT:

- MAABETONI 100mm = 20 mk/m²
- MAABETONI 150 mm = 23 mk/m²
- MAABETONI 200 mm = 27 mk/m²
- MAABETONI 300 mm = 40 mk/m²
- BITUMISORA 50 mm = 17 mk/m²
- BITUMISORA 100 mm = 28 mk/m²

- BETONI K50 = 680 mk/m³
- BETONI K70 = 750 mk/m³
- BETONI K90 = 850 mk/m³

TAULUKOSSA ESITETYT LUVUT TARKOITTAVAT KOKONAISRAKENTEEN HINTAA mk/m²

		680	750	850				
KVL		K50	K70	K90	KVL	K50	K70	K90
10000					40000			
MB 100	20	181,84	181,25	173,85	MB 100	272,28	256,25	229,95
MB 150	23	180,76	179,75	171,75	MB 150	271,2	254,75	227,85
MB 200	27	181,36	180	171,5	MB 200	271,8	255	227,6
MB 300	40	189,6	187,75	178,55	MB 300	279,36	262	234,65
BS 50	17	184,28	184,25	177,65	BS 50	274,72	259,25	233,75
BS 100	28	191,2	190,75	183,55	BS 100	281,64	265,75	239,65
KVL		K50	K70	K90				
20000								
MB 100		213,12	207,5	192,55				
MB 150		212,04	206	190,45				
MB 200		212,64	206,25	190,2				
MB 300		220,2	214	197,25				
BS 50		215,56	210,5	196,35				
BS 100		222,48	217	202,25				
KVL		K50	K70	K90				
30000								
MB 100		243,04	231,5	212,1				
MB 150		241,96	230,75	210				
MB 200		242,56	231	209,75				
MB 300		250,12	238	216,8				
BS 50		245,48	233	215,9				
BS 100		252,4	241,75	221,8				

TIELAITOKSEN SELVITYKSIÄ

- 33/1993 Tiesuolan pohjavesivaikutusten mallintaminen Joutsenonkankaalla.
TIEL 3200158
- 34/1993 Kalliomurskeiden tiivistyminen ja hienoneminen, esitutkimus. TIEL 3200159
- 35/1993 Strategic Highway Research Program (SHRP) - Longterm Pavement Performance (LTPP); Koeteillä tehtyt mittaukset vuonna 1992 ja tie-
rakenteen vaurioitumiseen vaikuttavat tekijät. TIEL 3200160
- 36/1993 Palaturpeen käyttö lämpöeristeenä, raportti koerakenteiden rakentamisesta
TIEL 3200161
- 37/1993 Talvikunnossapidon laadun logistiset vaikutukset. TIEL 3200162
- 38/1993 Sitomattomien kerrosten kiviainesten muodonmuutosominaisuudet;
Kirjallisuusselvitys. TIEL 3200163
- 39/1993 Sitomattomien kerrosten kiviainesten muodonmuutosominaisuudet;
Esiselvitysvaiheen kuormituskokeet. TIEL 3200164
- 40/1993 Teiden tasaisuusmittareiden vertailu; PTM:n, Roadmanin ja Dipstickin
laittevertailu sekä epätasaisuuksien vaikutus tierasitukseen. TIEL 3200165
- 41/1993 Stabiloidun materiaalin maksimiraekoon sekä koekappaleen koon ja muodon
vaikutus puristuslujuuteen. TIEL 3200166
- 42/1993 Tie liikennemelun mittaaminen; Opas. TIEL 3200167
- 43/1993 Asfaltti- ja murskausasemien melun leviäminen. TIEL 3200168
- 44/1993 Auton polttoaineenkulutuksen joustot eri väestöryhmissä; esitutkimus.
TIEL 3200169.
- 45/1993 Talvirengastutkimus; Talvirenkaiden käyttö ja kunto sekä kuljettajien
arvot talvirenkaistaan talvikaudella 1992-93. TIEL 3200170
- 46/1993 Tieympäristön pehmentämisen turvallisuusvaikutukset. TIEL 3200171
- 47/1993 Väsymissuorat tierakenteen mitoittamista varten. TIEL 3200172
- 48/1993 Tietullit ja käyttömaksut; Asennoituminen tie- ja automaksuihin. TIEL 3200173
- 49/1993 Tiesuolaus ja pohjavedet; nykytilan selvitys. TIEL 3200174
- 50/1993 Ympäristöpainotteinen taajamatie Ylistarossa; Yleissuunnittelun arviointi.
TIEL 3200175
- 51/1993 Liikenteen informaatiopalveluiden käyttötutkimus. TIEL 3200176
- 52/1993 Road Condition Measurement and Pavement Management in Finland.
TIEL 3200177E
- 53/1993 Pikavuorojen reitti-, liityntäliikenne- ja pysäkkijärjestelyjen kehittäminen.
TIEL 3200178
- 54/1993 Pietarsaaren keskustauudistus; Saavutettavuuden ja vähittäiskaupan
analyysi. TIEL 3200179
- 55/1993 Valtatie 3, vuoropuhelun arviointi. TIEL 3200180